الدورية العالمية للعلوم / 24 يونيو 2021

nature
الطبعة العربية



بناء الحروف

نظام اتصال بين الحاسوب والدماغ يترجم أفكار الكتابة باليد إلى نص مكتوب

فيروس كورونا
«كوفيد-19» يمنحنا نظرة غير مسبوقة إلى السلوك البشري

التنكس العصبي
طريق وعر للوصول إلى علاجات جينية لأمراض الدماغ

المعلومات المضللة
تحري الدقة يقطع الطريق على نشر الأخبار الزائفة على الإنترنت

ARABICEDITION.NATURE.COM
يونيو 2021 / السنة السابعة / العدد 67
ISSN 977-2314-55003

nature

رسالة رئيس التحرير

إطلالة على آفاق العلوم

أهـلًا بكم في عدد ربع سـنوي جديد من دوريـة «*Nature* الطبعة العربية»، لنعرض لكـم مختـارات من أهم ما نُـشر في دورية *Nature* الدولية خلال الفترة من إبريل إلى يونيـو 2021، وإضاءات على آفاق تَقدُّم العلوم.

يـأتي هـذا العدد بينما بدأت بشائر اللقاحات المضادة لمرض «كوفيد-19» في الظهـور، إذ بلغت نسـبة الحاصلين على جرعة واحدة على الأقل من اللقاح 25.5% من سـكان العالم حتى وقت كتابة هذه السـطور، بإجمالي 3.42 مليار جرعة. وبالفعل تشـير المؤشرات الأولية إلى أن اللقاحات لها تأثير فعال في الحد من انتشـار المرض، والتقليـل مـن حدة أعراضه. ورغم هذا العدد الضخـم من الجرعات عالميًّا، فعلى مسـتوى الدول ذات الدخل المنخفض لم يحصل سـوى 1% فقط من سـكانها على اللقاحـات، وهو مـا يهدد بإطالة أمد الجائحة.

وفي قسـم "أخبـار في دائرة الضوء"، وتحت عنوان " ما الـذي نحتاجه ليحصل العالَم بأكملـه عـلى تطعيم ضد «كوفيد-19»؟"، يوضح تقريـر خاص التحديات التي تواجهنا لإنهاء تطعيم سـكان العالم، بدءًا من العقبات التي تعترض الاسـتفادة من إمكانيات لقاحات الحمض النووي الريبي المرسـال، وصولًا إلى تلك التي تعرقل الجهود السـاعية لتعليـق حقـوق الملكيـة الفكرية مؤقتًا، كما نتعـرف تحت عنوان "مزيج من لقاحات «كوفيـد-19» يُوَلِّد اسـتجابة مناعية قوية"، عـلى النتائج الأولية لإحدى التجارب التي تبـشر بفوائد الجمع بين اللقاحات، وهو ما قد يسـهل ويـسرع من عملية التلقيح عالميًّـا. وبعيـدًا عـن الجائحة، نقرأ في نفس القسـم عن الجدل الذي أثاره إنماء أجنة قـردة تحتـوي على خلايا بشرية لمـدة بلغت 19 يومًا، وذلك تحت عنوان "الأجنة الأولى لقـردة بشريـة تثير جدلًا حول الحيوانات الهجينة"، كما نرحب بعودة وكالة "ناسـا" الفضائيـة إلى القيـام بدور مهم في مواجهة تغير المناخ تحت عنوان "«ناسـا» تُحْيِي دورهـا في مكافحة تغيُّر المناخ".

ونقرأ في قسـم التحقيقات عن فشـل جهات تصنيع الأدوية في الاسـتعداد للجائحة، على الرغم من تحذيرات سـابقة، وما تحتاج إلى القيام به لتفادي تكرار المأسـاة التي يعيشـها العالَم مرة أخرى في المسـتقبل، وذلك في تحقيق تحت عنوان "الاسـتعداد للجائحـة القادمـة". ورغم ما يعانيه العالَم من صعوبـات، وتعطُّل الحياة الطبيعية منـذ أكـثر من عام بسـبب جائحة «كوفيد-19»، كان لهـا أيضًا دور إيجابي في تعليمنا سـبل التصـدي للأزمات والمعلومات المضللة، فضلًا عـن تحفيز الباحثين على تبَنِّي طـرق جديدة في دراسـة القضايا المتعلقة بالصحـة العامة، وهو ما نتعرف عليه أكثر في تحقيق تحت عنوان " دراسـات السـلوك الإنسـاني تشهد تحولًا بسبب جائحة «كوفيـد-19»". كمـا نتعرف على المحـاولات المضنية للوصول إلى "علاجات جينية لأمـراض دماغية"، كما يخبرنا العنوان.

أما في قسـم «كتب وفنون»، فتعرض آنا نوفيتسـكي كتاب «صناعة يدوية» *Handmade*، الذي تستكشـف كاتبته بعض المعارف من خلال تطبيقات علمية في رحلة تنقلت فيها بين عشر مواد، بعد أن سـعت إلى فهم كيف يتفاعل الحرفيون مع المواد التي تقتصر معرفتها بها على الجانب النظري فقط. كما تسـتعرض فرجينيا ديجنوم كتابـين يطرحـان رؤى مكملـة لبعضها البعض حول الدور الذي يلعبه الذكاء الاصطناعي في رسـم ملامح المجتمع، بعد أن تغلغل في كافة جوانب حياتنا تقريبًا.

وفي قسـم «أخبار وآراء»، يسـتعرض مساكي هوري، تحت عنوان " تبريد المادة المضادة باسـتخدام ضوء الليزر"، بحثًا اسـتخدم القائمون عليه شـعاعًا من الليزر لإبطاء ذرات من الهيدروجين المضاد، وهي أبسـط الذرات المكوَّنة من مادة مضادة خالصة، وهي تقنية قد تتيح فحص بعض ظواهر التناظُر الأساسـية في الكون بدقةٍ فائقة. وتحت عنـوان "جدل مثير حـول قيمة العزم المغناطيسي للميون"، يتناول هارفي بي. ماير اكتشـاف طريقة جديدة مسـتنِدة إلى المبادئ الأولى لحساب مدى التأثير الذي يخلق أغلب أوجه عدم اليقين التي تشـوب حسابات العزم المغناطيسي لجسيم الميون، وهو ما قد يحل لغزًا لطالما اسـتعصى على الحل، لكنها تصنع معضلة أخرى. وفي مجال علم النفس، يسـتعرض توم ميفيس، وهييونج يون دراسـة عن سـبب ميل الأفراد إلى الحلـول الـتي تضيـف خصائص أو أوضاعًا جديدة، أكثر من الحلول التي تحذف أو تلغـي أوضاعًـا قائمة، حتى عندما يكون قرار الإلغاء أكثر فاعلية.

رئيس التحرير

علياء حامد

المحتويات


طريقة للتعرف على عقاقير «سايكاديلك» غير مهلوسة ص.17


الاستعداد للجائحة القادمة ص.26



ماذا يلزم لحل أزمة منظومات الصرف الصحي؟ ص.44

افتتاحيات

رؤية عالمية

أضواء على البحوث

موجز الأخبار

أخبار في دائرة الضوء

تحقيقات

تعليقات

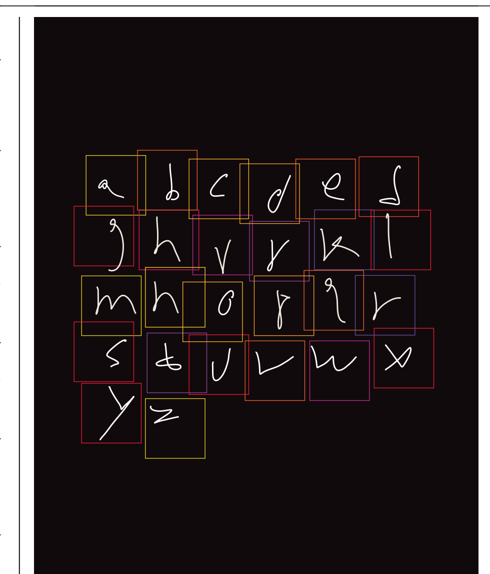
كتب وفنون

مهن علمية

حيث أعمل



أنباء وآراء



على الغلاف

بناء الحروف

تستطيع أنظمة الحاسوب المتصلة بالدماغ (BCIs) أن تعيد القدرة على التواصل إلى الأشخاص الذين لم يَعُد باستطاعتهم الكلام أو الحركة. وحتى الآن، كان التركيز الرئيس لأبحاث أنظمة الحاسوب الموصلة بالدماغ مُنصَبًّا على استعادة المهارات الحركية الأساسية، مثل مدّ اليد، والتقاط الأشياء. وفي هذا العدد، يقدم فرانسيس ويليت وزملاؤه نتائج نظام اتصال بين الحاسوب والدماغ، يُزرع داخل القشرة الدماغية، من شأنه أن يفك ترميز محاولات حركة الكتابة باليد، من خلال تحليل النشاط العصبي في القشرة الحركية، وترجمتها إلى نصوص في الوقت الحقيقي. أجرى الباحثون تجربتهم على رجل مصاب بالشلل من العنق حتى أسفل جسمه، وطلبوا منه أن يحاول الكتابة من خلال تخيُّل أنه يحمل قلمًا ويكتب به على ورقة. اعتمد نظام الحاسوب المتصل بالدماغ على شبكة عصبية لتحويل الإشارات العصبية إلى حروف، ما مَكَّن الرجل من الكتابة بسرعات بلغت ٩٠ حرفًا في الدقيقة، بدقة مبدئية بلغت 94.1%. تَظهَر على الغلاف صورة مُجمعة للأبجدية الإنجليزية، مأخوذة من النشاط العصبي للمشارك في الدراسة أثناء تفكيره في الكتابة. **صفحة 57**

كي. كراوس/ نيتشر، مقتبَسة من بحث فرانسيس ويليت وزملائه، المنشور في دورية *Nature*.

ملخصات الأبحاث

nature

الهند والبرازيل والكُلفة البشرية لتهميش العلم

الحكومات التي تتجاهل التوصيات العلمية أو تُماطِل في اتخاذ إجراءات تستند إلى تلك التوصيات تُهدِر فرصة ذهبية للسيطرة على الجائحة.

في نهاية شهر إبريل الماضي، تجاوزت حصيلةُ الوفيات الناجمة عن مرض "كوفيد-19" في البرازيل 400 ألف. وفي الهند، بلغ عدد حالات الوفاة وقتها قرابة 3500 شخص يوميًا، فترتب على ذلك استجابة دولية تمثَّلت في تلقي الهند عروضًا بتوفير الأكسجين، وأجهزة التنفس الصناعي، وأَسِرَّة العناية المركزة، وغير ذلك كثير. يفصل بين هذين البلدين آلاف الأميال، لكن الأزمات التي يعانيها كلا البلدين منشؤها إخفاقاتٌ سياسية؛ إذ إن قادة الدولتين إما فشلوا أو تباطؤوا في الاستجابة لتوصيات الباحثين، الأمر الذي تسبَّب في خسائر مهولة في الأرواح.

تَمثَّل الإخفاق الأكبر لدى البرازيل في إصرار رئيسها، جايير بولسونارو، على توصيفه المغلوط لمرض "كوفيد-19" بأنه مجرد "إنفلونزا خفيفة"، ورفضه اتباع التوصيات العلمية في وضع السياسات، مثل فرض ارتداء الكمامات، والحد من التواصل المباشر بين الأشخاص.

ولم يتصرف قادة الهند بالحزم المطلوب. فسمحوا، على سبيل المثال، بالتجمعات الكبيرة، بل وشجعوا عليها في بعض الأحيان. ليس هذا الوضع بجديد؛ فكما شهدنا أثناء إدارة الرئيس الأمريكي السابق دونالد ترامب، فإن تجاهُل الأدلة العلمية التي تشير إلى ضرورة الالتزام بالتباعد الاجتماعي من أجل مكافحة "كوفيد-19" كان له عواقب كارثية؛ إذ سجلت الولايات المتحدة أكثر من 570 ألف حالة وفاة بسبب المرض، وهي أكبر حصيلة وفيات جَرَّاء "كوفيد-19" سجلتها دولة على مستوى العالم حتى الآن.

وكما ذكرت دورية *Nature*، في مقال سابق، في قسم "رؤية كونية"، فإن قادة الهند شعروا بالرضا عن أنفسهم، وأصابهم التراخي، بعد الانخفاض البطيء في المعدل اليومي لحالات الإصابة بالمرض، التي وصلت إلى نحو 12 ألف حالة في اليوم في بداية مارس، بعد أن كانت قد بلغت ذروتها عند 96 ألف حالة إصابة يومية في سبتمبر الماضي. خلال تلك الفترة، فتحت الشركات أبوابها من جديد. وأعقب ذلك تجمعاتٌ كبيرة، كان من بينها احتجاجات مُناهِضة لفرض قوانين زراعية جديدة ومثيرة للجدل، إذ احتشد آلاف المزارعين عند حدود نيودلهي. كما تواصلت المسيرات الانتخابية والتجمعات الدينية خلال شهري مارس وأبريل.

صعوبات تتعلق بالبيانات

ثَمة مشكلات أخرى تواجهها الهند، فمثلًا يجد العلماء صعوبة في الوصول إلى البيانات اللازمة لإجراء أبحاث "كوفيد -19"، وهذا بدوره يعُوقهم عن إمداد الحكومة بتنبؤات دقيقة، وتوصيات مدعومة بأدلة علمية. ومع ذلك، وحتى في ظل غياب مثل هذه البيانات، لم يتوانَ الباحثون عن تحذير الحكومة في سبتمبر الماضي من عواقب التراخي في القيود المفروضة بسبب "كوفيد-19". (*Lancet* 396, 867; 2020). كما حذَّروا مؤخرًا، في بداية شهر أبريل، من أن الموجة الثانية قد تشهد وصول معدل حالات الإصابة بمرض "كوفيد-19" إلى 100 ألف في اليوم الواحد بحلول نهاية الشهر.

في التاسع والعشرين من أبريل، بعث أكثر من 700 عالِم برسالة خطية إلى رئيس الوزراء الهندي، ناريندرا مودي، ناشدوه فيها تحسين سُبل الوصول إلى بيانات مثل: نتائج اختبارات "كوفيد-19"، والنتائج الإكلينيكية للمرضى في المستشفيات، فضلًا عن تطوير برنامج مراقبة جينية واسع النطاق بما يكفي لرصد السلالات الجديدة المتحورة عن الفيروس. وفي اليوم التالي، أقَرَّ كريشناسوامي فيجاي راجهافان، كبير المستشارين العلميين لدى الحكومة، بالمخاوف التي أعرب عنها العلماء، وأوضح السُبل التي يمكن أن يتبعها الباحثون غير الحكوميين للحصول على تلك البيانات. ومن جانبهم، رحَّب المُوقِّعون على الرسالة بهذه الخطوة، إلا أنهم أخبروا دورية *Nature* بأن بعض جوانب عملية الوصول إلى البيانات لا تزال غير واضحة.

ما كان ينبغي للموقف أن يتطور بحيث يجد العلماء أنفسهم مضطرين للتوقيع على رسالة احتجاجية. فقد عَرَّض هؤلاء الموقِّعون أنفسهم للخطر بالكشف عن هوياتهم؛ ففي السابق، لم يلق الباحثون الذين كانوا ينسقون فيما بينهم للتشكيك في سياسات حكومة مودي استجابةً جيدة من جانب الحكومة. فقبل عامين، لم يرُق للمسؤولين تلقي رسالة خطية بعث بها إليهم أكثر من 100 خبير اقتصادي وإحصائي يحثون فيها الحكومة على وقف التدخل السياسي في الإحصاءات الرسمية. وكانت الرسالة قد كُتبت في أعقاب استقالات تقدَّم بها مسؤولون كبار من لجنة الإحصاء الوطنية الهندية؛ ردًا ما اعتبروه تدخلًا في توقيت التصريح بالاطلاع على البيانات الحكومية.

إن توتر العلاقات بين المجتمعات البحثية وحكوماتها الوطنية ليس أمرًا جيدًا على الإطلاق. لكن الأمر قد تكون له عواقب مميتة في خضم جائحةٍ، حيث تفرض الضرورة حينها اتخاذ قرارات سريعة تستند إلى الأدلة العلمية. وهكذا، أدى تهميش العلماء من جانب حكومتي البرازيل والهند إلى إهدار فرصة ذهبية للحد من الخسائر في الأرواح.

ففي خضم الجوائح، نتطلع جميعًا إلى نجاح حكوماتنا. غير أنه يصعب اتخاذ قرارات جيدة وسريعة في الوقت نفسه، ولا سيما في ظل نقص المعلومات. ولهذا السبب، يجب أن تكون البيانات الصحية دقيقة ومتاحة للباحثين والأطباء الإكلينيكيين؛ فحجْبُ هذه البيانات أو حظر الاطلاع عليها قد يؤدي إلى إطالة أمد الجائحة.



IMTIYAZ KHAN/ANADOLU AGENCY/GETTY

أحد مراكز رعاية المصابين بمرض "كوفيد-19" في العاصمة الهندية نيودلهي، وكانت الهند تُسجِّل في أبريل الماضي نحو 3500 حالة وفاة يوميًا.

nature

أعطوا أبحاث الهندسة الجيولوجية الشمسية فرصة

لا بديل عن التقليص الحاد لانبعاثات غازات الدفيئة، لكن ثمة حاجة إلى تقييم مخاطر التقنيات التي قد تخفف الاحترار العالمي، وتقييم منافعها.

نجحت قمّة المناخ التي عقدها الرئيس الأمريكي جو بايدن عبر الإنترنت خلال شهر أبريل الماضي من ناحية واحدة على الأقل، إذ قدّمت عدة حكومات، من بينها حكومة الولايات المتحدة، تعهدات جديدة للحدّ من انبعاثات غازات الدفيئة. وتلك التعهدات - إلى جانب إعلان بلدان أخرى ودول الاتحاد الأوروبي لبعض الالتزامات في هذا السياق - من شأنها تقليص الانبعاثات بحلول عام 2030 بما يعادل أكثر من 3 مليارات طن من ثاني أكسيد الكربون، أي بمقدار يربو على انبعاثات الكربون الصادرة عن الهند سنويًّا في الوقت الراهن، بيد أن هذا الهدف – حتى إنْ تحقق – لن يكون كافيًا لإبقاء العالم على المسار الأرجح لكَبْح جماح الاحترار، ليتوقف عند 1.5 درجة مئوية فوق مستويات ما قبل العصر الصناعي.

ويجب على قادة العالم أن يبحثوا عن سبل لتعويض قصور هذه الجهود خلال انعقاد مؤتمر الأطراف المُوَقِّعة على اتفاقية الأمم المتحدة الإطارية بشأن تغير المناخ في جلاسجو بالمملكة المتحدة خلال شهر نوفمبر المقبل، وأن ينفذوا التزاماتهم بعد ذلك. ومما لا شك فيه أن أمامنا طريقًا طويلًا وشاقًّا. ولذا، يجب على مسؤولي الحكومات والعلماء الاستمرار في تقييم احتجاز الكربون واستراتيجيات مواجهة تغيُّر المناخ الأخرى التي يمكن استخدامها لإزالة ثاني أكسيد الكربون من الغلاف الجوي. ويتعيّن عليهم أيضًا استكشاف آفاق مجال الهندسة الجيولوجية الشمسية، الذي يتضمن إدخال تغييرات على السُّحُب، أو حَقْن جسيمات عاكسة في طبقة الاستراتوسفير؛ لعكس ضوء الشمس مجددًا إلى الفضاء، وتبريد الكوكب. وسيكون تأثير عمليات الحقن هذه شبيهًا بالتبريد الذي يحدث بعد الثورات البركانية.

وتشير دراسات إلى أن الهندسة الجيولوجية الشمسية بإمكانها توفير إغاثة قصيرة الأجل، سنكون في حاجة ماسّة إليها، إذا لم يعد بالإمكان تحمُّل وطأة الاحترار العالمي. (P. Irvine *et al*. *Nature Clim*. *Change* **9**, 295–299; 2019). ومع ذلك، تظل ثمة تساؤلات تقنية، وبيئية، وأخلاقية قائمة، من بينها كيفية ضمان تحقيق هذا التبريد للغرض المنشود منه، ومَن يقرر ضبط درجات الحرارة. كما توجد آثار غير مباشرة محتملة لهذه التقنية، قد تختلف باختلاف المناطق وقطاعات المجتمع (J. Proctor *et al*. *Nature* **560**, 480–483; 2018). لذا، هناك حاجة إلى المزيد من البحوث لفهم تلك المشكلات.

ويعارض بعض العلماء معارضةً صارخة استخدام الهندسة الجيولوجية الشمسية، الذي قد يحيد عن مساره الصحيح بطرق غير متوقعة، وقد يكون من الصعب وَقْف آثاره بأمان حالما يبدأ. وثمة مخاوف أيضًا من أن يؤدي مجرّد اتخاذ خطوة للبحث في مجال الهندسة الجيولوجية الشمسية إلى خلق حالة "استهتار"، (يسميها الاقتصاديون خطرًا أخلاقيًّا)، وهو ما يؤدي إلى اطمئنان في غير محلّه، والانصراف عن جهود السيطرة على انبعاثات غازات الدفيئة. ويتخوف البعض ممن يعارضون الهندسة الجيولوجية الشمسية من احتمالية ألا يتسنى وَقْف نشر هذه التقنية بمجرد بدء الأبحاث في هذا المجال، بغض النظر عن النتائج.

> "تحتاج الحكومات إلى تكثيف جهود مواجهة التغيُّر المناخي، وتقييم كل الخيارات الممكنة للتحرُّك".

أمّا الباحثون الذين يدرسون الهندسة الجيولوجية، فيحاججون في المقابل بأنّ ثمة حاجة إلى فهم هذا العلم، وأن العالم يجب أن يأخذ في اعتباره الأسئلة الشائكة الخاصة بقضايا الحوكمة الدولية، التي ستُطرح إذا أقدم بلدٌ ما على المضي قدمًا في برنامج لم يُخطط له بعناية، إلا أن الباحثين يَجِدون صعوبة في جمع التمويلات اللازمة لهذا المجال، وفي إجراء التجارب الخاصة به، وفي التصدي للمخاوف المشروعة إزاء أبحاثهم.

وعلى سبيل المثال، في مارس الماضي، اضطر علماء يعملون على تجربة تُعرف باسم "الاضطرابات الخاضعة للتحكم بطبقة الاستراتوسفير" Stratospheric Controlled Perturbation Experiment (أو اختصارًا SCoPEx) لإلغاء رحلة منطاد، كان من المقرر انطلاقها في يونيو من هذا العام في السويد، إذ واجهت تلك الرحلة المصممة لاختبار معدّات قد تُستخدَم في التجارب المستقبلية وتنطوي على إطلاق جسيمات في الغلاف الجوّي معارضةً من مناصري حماية البيئة، وممثلي المجتمعات اللابية المقيمة بشمال إسكندنافيا، الذين زعموا أن أبحاث الهندسة الجيولوجية تصرف الانتباه عن الجهود الأخرى المبذولة في سبيل مواجهة تغير المناخ. وأوصت لجنة استشارية بتأجيل رحلة المنطاد لإتاحة الفرصة لمشاركة جماهيرية أكبر في هذا القرار.

وحتّى وقتنا هذا، لم تعط الهيئات العامة الأولوية للوصول إلى توافق آراء كهذا. ومع ذلك، هناك تطوّران مُرَحّب بهما يشيران إلى أن هناك فرصة للوصول إلى هذا التوافُق.

فقد أوصت الأكاديميات الوطنية الأمريكية للعلوم والهندسة والطب، في شهر مارس الماضي، بأنْ تؤسس الحكومة الأمريكية برنامجًا بحثيًّا فيدراليًّا مُتَّسقًا من أجل دراسة الهندسة الجيولوجية الشمسية. وحتّى الآن، تُعَد هذه الدعوة الأكثر صراحة من جانب هيئة علمية كبرى لتأسيس برنامج بحثي حكومي في هذا المجال قد أتت في الوقت المناسب لها.

وهذا البرنامج الذي تشارك فيه هيئات متعددة، والذي تتراوح تكلفته على مدار خمس سنوات ما بين 100 مليون و200 مليون دولار أمريكي من شأنه استكشاف العلوم البيئية الأساسية المرتبطة بإدخال تغييرات على السُّحُب، أو إطلاق جسيمات على نطاق واسع في الغلاف الجوي، فضلًا عن الأخلاقيات الحاكمة لهذه التكنولوجيا، ونظرة الجمهور إليها. وينطوي هذا المقترح بإطلاق البرنامج على تأسيس مدوّنة لقواعد السلوك في هذا المجال، وسجل عام بمقترحات الأبحاث ونتائجها. وتدعو الأكاديميات أيضًا إلى المشاركة الدولية الواسعة في هذا المجال، وتبادل المعلومات فيه، وعقد النقاشات بشأن الحوكمة العالمية لهذه التقنية. وهذا أمر بالغ الأهمية؛ فالهندسة الجيولوجية الشمسية من شأنها التأثير على الكوكب بأكمله، ولا يجب أن تُقْدِم الولايات المتحدة على التصرُّف وحدها في هذا الصدد.

وثمة تقدُّم مُحرَز أيضًا على الجبهة الدولية في هذا الصدد، فعلى سبيل المثال، تعمل مبادرة كارنيجي لحوكمة المناخ (C2G) - وهي مجموعة ضغط تؤيد هذه التقنية، وتتخذ من مدينة نيويورك مقرًّا لها - على إشراك جمعية الأمم المتحدة في أبحاث الهندسة الجيولوجية الشمسية، وقضايا حوكمة هذه التقنية. وفي مارس من عام 2019، ناقش وزراء البيئة قرارًا يطالب برنامج الأمم المتحدة للبيئة بتقييم علم الهندسة الجيولوجية وتقنياته. وقد فشل هذا الإجراء جزئيًّا بسبب معارضة إدارة الرئيس الأمريكي السابق دونالد ترامب له. وتستعد سويسرا وبلدان أخرى لطرح قرار جديد بهذا الشأن خلال العام المقبل. وتعمل مبادرة كارنيجي لحوكمة المناخ على الدفع بمناقشة تقنية الهندسة الجيولوجية الشمسية خلال انعقاد الجمعية العامة للأمم المتحدة في عام 2023.

إن بحوث الهندسة الجيولوجية الشمسية تجلب معها أخطارًا، وهناك طرق أخرى واعدة بدرجة أكبر لمعالجة الاحترار العالمي، لكن العالَم لا يزال متجهًا نحو تغيّر مناخي خطير. وتحتاج الحكومات إلى تكثيف جهود مواجهة التغيُّر المناخي، وتقييم كل الخيارات الممكنة للتحرُّك. وإذا كانت الهندسة الجيولوجية الشمسية ضارة، فسيحتاج القادة إلى أدلة لإسقاطها من الاعتبار.

nature

دروس «كوفيد» التي ينبغي استيعابها قبل وضع معاهدة لمواجهة الجوائح

ربما تسهم المعاهدة في جعل الدول أكثر تأهُّبًا لمواجهة الجائحة القادمة، لكن علينا أولًا استيعاب دروس الجائحة الحالية.

في شهر أبريل الماضي، دعا 27 من زعماء العالم، بينهم رئيس المجلس الأوروبي، والمدير العام لمنظمة الصحة العالمية، إلى وضع معاهدة قانونية مُلزِمة، من شأنها أن تؤهِّل العالَم لأنْ يكون أكثر استعدادًا لمواجهة الجوائح في المستقبل. وقد أسهم الاتحاد الأوروبي في إطلاق هذه المبادرة، التي دعمتها بعض دول الاتحاد الأفريقي، ودول في آسيا وأمريكا الجنوبية؛ غير أن الولايات المتحدة والصين لم تكونا ضمن المجموعة المؤسِّسة، الداعية إلى سَن هذه المعاهدة.

يتطلَّع هؤلاء الزعماء إلى وضع اتفاقية عالمية، تقوم على تنسيقها منظمة الصحة العالمية، لتُمكِّن البلدان من مشاركة ما لديها من خبرات، ومعدات، ومعلومات مشاركةً عادلة، من أجل السيطرة على الجوائح، والقضاء عليها. وقد كَتَب هؤلاء القادة سلسلة من مقالات الرأي، نُشرت على نحوٍ متزامن في عدد من الصحف حول العالم، جاء فيها: "معًا، يجب أن نكون أكثر استعدادًا للتنبؤ بالجوائح، ومنع وقوعها، وتعقُّبها إذا وقعت، وتقييمها، والتصدي لها بفاعلية، وبدرجة عالية من التنسيق".

ويرون أن معاهدة كهذه من شأنها أن تقدِّم لنا وجهًا مغايرًا لمجابهة الجوائح، بعيدًا كل البعد عن الاستجابة العالمية للجائحة الحالية، التي تفتقر إلى التعاون افتقارًا جليًّا. فالدول التي تُجْري أبحاث اللقاحات، وتتولى تصنيعها تستأثر بالنصيب الأكبر من مخزون اللقاحات، أو تفرض قيودًا على تصديرها إلى غيرها من البلدان. وفي الوقت الراهن، تسعى دول غنية عدَّة إلى حماية الملكية الفكرية للتقنيات المهمة ذات الصلة بإنتاج اللقاحات. وفي مرحلة سابقة من عمر الجائحة، رأينا كيف تنافسَتْ الدول فيما بينها على أدوات الحماية الشخصية، وأدوات الكشف عن فيروس كورونا.

وعلى الرغم من أن الهدف وراء إقرار معاهدة لمواجهة الجوائح هدف له وجاهته، ليس من الواضح إذا كان من شأن هذه الوثيقة أن تقود إلى تدشين استجابة موحَّدة للجوائح المستقبلية على أرض الواقع، وتحقيق قدرٍ أكبر من العدالة. فعندما وقعت الأزمة المالية العالمية في عام 2008، عمل زعماء الدول، بالتنسيق مع وزراء المالية ورؤساء المؤسسات المالية، على إعادة الاستقرار إلى الاقتصاد العالمي. لم يكونوا بحاجة إلى معاهدة؛ والأمر نفسه يصدُق على أولئك الذين يلتمسون سبيلًا للخروج من هذه الجائحة.

والحقُّ أن مدَّ جسور التعاون فيما بين الدول، واتخاذ عدد من القرارات المشتركة، على نحو ما دعت إليه أطراف عدة، كان ولا يزال خيارًا سانحًا تمامًا. فعند الحديث عن اللقاحات، على سبيل المثال، كان من الممكن عقد اتفاقية تسمح بتبادُل المعارف، والتقنيات، والإمدادات، بما يتيح توفير الحماية للفئات الأكثر عُرضة لأخطار المرض على مستوى العالم أولًا. وكان من الممكن، أيضًا، أن تتعاون الدول على نحو مماثل، لوضع المعايير اللازمة لفرض الإغلاق ورفعه، وفتح الحدود وغلقها.

هذا لا يعني أن معاهدة مواجهة الجوائح فكرة غير قابلة للتطبيق؛ فاتباع نهج تعدُّدي خير من أن تتصرف كل دولة على حدة. غير أن وضع معاهدة كهذه يستلزم توخِّي الحذر، ودراسة الاستجابة الحالية للجائحة بتمعن. كما تتطلب كذلك توسيع دائرة الداعمين، بحيث تتخطى الدعم المقدَّم من القادة المؤسِّسين، إضافةً إلى التحلِّي بالصبر، وتقديم التنازلات المتبادَلة.



> **وضع معاهدة دولية سوف يتطلب توسيع دائرة الداعمين، إضافةً إلى التحلِّي بالصبر، وتقديم التنازلات المتبادَلة".**

كيف السبيل إلى وضع معاهدة دولية؟

يلزَم أن تكون معاهدة مواجهة الجوائح مستوفيةً أربعة شروط على الأقل. أولًا، يجب أن تُوَقَّع على المعاهدات الدولية دول العالَم أجمع؛ وهو ما لم يتحقق، إلى الآن، سوى من قِبَل عدد قليل من الدول. وينبغي تفهُّم أن لدى الدول المختلفة أسبابًا مختلفة للانضمام إلى تلك المعاهدات. أضف إلى ذلك أن وضع معاهدة دولية يستلزم انضمام الصين والولايات المتحدة؛ وهو الأمر الذي تحوم حوله الشكوك حاليًّا، على ضوء تجدُّد التوترات في العلاقات بين الشرق والغرب. كما أن مفاوضات المعاهدة قد تستغرق سنوات - وربما عقودًا – ولذا، علينا أن نتبنَّى سياسة النفَس الطويل.

ثانيًا، تحتاج المعاهدة إلى مشاركة فاعلة من الأوساط البحثية والمنظمات غير الحكومية. فبالعودة إلى التاريخ، يتجلَّى كيف أن هاتين الفئتين لعِبَتا دورًا حاسمًا في وضع المعاهدات الدولية. لقد ساعدت التحذيرات التي أطلقها الباحثون على الاتفاق على صياغة معاهدات دولية بخصوص استنزاف طبقة الأوزون، وتغير المناخ. كما أسهمت المنظمات غير الحكومية في وضع معاهدات التنوع البيولوجي، ومعاهدة حظر الأسلحة النووية، التي دخلت حيز التنفيذ في يناير الماضي. غير أن أصوات هذه المنظمات لم تُسمع بعد، فيما يتصل بمعاهدة التصدي للجوائح، كما لم تُسمع أصوات آلاف الأطباء، وعلماء الأوبئة، وعلماء الوراثة، واختصاصيّ الصحة العامة، وعلماء الفيروسات، وكثيرين غيرهم ممن يلعبون دورًا محوريًّا في التصدي للجائحة؛ ولا بد من سماع أصواتهم.

ثالثًا، قبل الشروع في التفاوض بشأن المعاهدة الجديدة، يتعين على الدول دراسة أسباب فشل الاتفاقيات الحالية. فبموجب خطة الاتحاد الأوروبي لمكافحة الجائحة، مثلًا، جُمعت اللقاحات التي أمكن شراؤها في مركز واحد، ومن ثم جرى توزيعها على الدول حسب الفئات ذات الأولوية. بيد أنه تبيَّن أن هذا النهج مثير للجدل، إذ مَنَعَ الدول من شراء الإمدادات الخاصة بها. وكان من نتيجة ذلك أن اتجهت بعض دول الاتحاد الأوروبي إلى انتهاك الاتفاقية، والتماس اللقاحات خارج إطار ذلك المركز الموحَّد.

والملاحَظ أن مبادرة "كوفاكس" COVAX، المعنية بإتاحة لقاحات "كوفيد–19" على مستوى العالم، تتحقق فيها بعض عناصر المعاهدات؛ فقد تعهَّدَ عدد من الدول والجهات المموِّلة بالمشاركة في تمويل اللقاحات، وتوفيرها للفئات الأكثر عُرضة لأخطار المرض، في الدول الأشد احتياجًا. ورغم ذلك، فمن الواضح أن الدول المتبرعة لا توفر الإمدادات للدول المستفيدة من برنامج "كوفاكس"، إلا بعد الانتهاء من تأمين اللقاحات لمواطنيها.

وقد بات من الواضح أنه على الرغم من إعلان الدول التزامها بمبدأ التوزيع العادل، نرى أن ما يحدث على أرض الواقع مختلف تمامًا. وإنْ دلَّ هذا على شيء، فإنما يدلُّ على أن ثمة خطرًا قائمًا، يتمثل في أنه لدى حدوث جائحة أخرى، ستعود الدول إلى التنافس فيما بينها على الإمدادات؛ حتى في ظل وجود معاهدة تُلْزِمها بالتقيُّد بضوابط التوزيع العادل.

رابعًا، إذا تقرَّر وضع معاهدة جديدة، تقوم على تنفيذها منظمة الصحة العالمية، فيتعيَّن على الدول إجراء حوار صريح حول مدى استعدادها لمَنْح هذه المنظمة مزيدًا من الصلاحيات. فقد رأينا كيف أن المنظمة عكفت على تقديم الإرشادات الصحية، حتى قبل إعلانها أن وباء "كوفيد-19" بات يشكل "طارئة صحية عمومية تثير قلقًا دوليًّا"، منذ أكثر من عام مضى. كانت بعض الدول أقدر من غيرها على اتباع تعليماتها، وأحرزَتْ نجاحًا أكبر في القضاء على الفيروس، وهذا ما لم يحدث في حالة دول أخرى. ولكي تنجح معاهدة تُشرِف عليها منظمة الصحة العالمية، سيكون لزامًا على جميع الدول احترام توصياتها.

إثر وقوع الأزمة المالية العالمية في عام 2008، أدرك قادة العالم ضرورة إصلاح بعض الجوانب في هيكل التمويل الدولي. على أنك لا تستطيع إصلاح نظام معيب في وسط الأزمة؛ فالمعاهدة التي من شأنها أن تصلح عيوب اليوم يمكن أن تكون وسيلة ناجعة لمواجهة الجوائح المستقبلية. ولكنْ في ظل الوضع الراهن، إذ لا تزال الدول تتحسس طريقها للخروج من هذه الأزمة، من المهم أن نتذكر أننا لسنا في حاجة إلى قانون دولي لنرفع سماعة الهاتف، ونتبادل الرؤى.

رؤية عالمية

كتب بواسطة
توبياس مولر

المتدينون حلفاء في المعركة ضد تغير المناخ

إذا تعاون العلماء مع الجماعات الدينية، فبإمكانهم أن يشكِّلوا معًا جبهة قوية في المعركة الرامية إلى بقاء كوكبنا مكانًا صالحًا للعيش.

أصبحتُ معتادًا نظرات الرِّيبة التي يرمقني بها العلماء عندما أتحدث إليهم عن عملي مع الجماعات الدينية. ولديهم أسبابهم التي تدفعهم إلى الاعتقاد بأن العِلْم مهدَّد من قِبَل المتعصبين، والأمثلة على هذا التهديد كثيرة. وربما يكون لدى الجماعات الدينية، هي الأخرى، من الأسباب ما يجعلها تُبادِل العلماء الشعور نفسه. ومع ذلك، فحتى وإنْ كانت ثمة خلافات بين هذه الجماعات والعلماء حول قضايا جوهرية، فلا تزال هناك إمكانية – بل وحاجة – إلى التعاون بين الجانبين في التعاطي مع بعض القضايا المُلحّة، ومنها قضية تحوُّل مساحات كبيرة من الأرض إلى مناطق غير صالحة للعيش.

أعمل باحثًا في مجال العلوم السياسية، وأعكف على دراسة الآليات التي تتعامل بها الجماعات الدينية مع القضايا المختلفة: بدايةً من الأزمات البيئية، مرورًا بالعنف المنزلي، ووصولًا إلى قضية العنصرية. ومنذ عام 2013، عملتُ جنبًا إلى جنب مع باحثين آخرين، بعضهم متديّنون، والبعض الآخر من غير المتديّنين، بهدف مساعدة الجماعات الدينية على التعرُّف على علم المناخ.

ولقد لمستُ بنفسي مدى فعَّالية هذا التوجُّه. فعلى سبيل المثال، التزمَتْ حوالي 1200 مؤسسة بسَحْب استثماراتها من شركات الوقود الأحفوري، بإجمالي 14.5 تريليون دولار أمريكي. شكَّلت المؤسسات الدينية نسبة الثلث من بين تلك المؤسسات، وكان على رأس الكثير منها علماء، ومنها المؤسسة الخيرية المسمَّاة "أوبيريشن نوح" Operation Noah. وبالمثل، أسست جماعة "مسلمون متمردون ضد الانقراض" Extinction Rebellion Muslims شبكة عابرة للحدود، تضم علماء ونشطاء مقيمين في كينيا، وجامبيا، والمملكة المتحدة، وغيرها من البلدان؛ حيث يرعَى هؤلاء العلماء والنشطاء سلسلة ندوات بعنوان: "رمضان الأخضر" Green Ramadan. وقد أسهمت جهودهم في تعطيل خطط إنشاء منتجع سياحي فاخر، كان بناؤه سيؤدي إلى تدمير أجزاء من حديقة نيروبي الوطنية في كينيا. وإضافةً إلى ذلك، جرى تعيين إحدى الناشطات المشارِكات في الحملة، وهي نكامونو باتيتا، من زعماء قبيلة "الماساي" Maasai، ضمن فريق عمل حكومي مكلَّف بوضع خرائط لرصد مسارات هجرة الحيوانات والطيور البرية، وسيقدم المشورة للحكومة بشأن خطط التنمية المستقبلية.

غير أنني قد رأيتُ أيضًا حالاتٍ كثيرة لتعثُّر فرص للتعاون بين المجموعات الدينية والعلماء من حينٍ إلى آخر، بسبب ما يحمله كل طرف من افتراضات خاطئة عن الآخر، وغياب التواصل الكُفؤ بين الطرفين؛ الأمر الذي دفعني إلى صياغة بعض الاستراتيجيات، منها استراتيجية تُعنَى بالعمل على إيجاد أُطُر مشتركة للتفاهم، بُغية المساعدة على تعزيز هذه الفرص.

لقد نشأت في مجتمع مسيحي محافظ، كان الاهتمام بالبيئة بالنسبة إليه في ذيل قائمة الأولويات، مقارنة بالاستعداد لعودة المسيح. ولكنْ بعدما التحقتُ بالجامعة، وصرتُ على دراية بدور تغير المناخ في قطع سُبُل العيش لآلاف الأشخاص، داهمني حزنٌ عميق، وتساءلت: كيف أسهمنا - نحن المسيحيين، الذين نتخذ من محبة الجيران واجبًا مقدسًا - في تدمير خلق الله؟

ولمّا كان الأمر كذلك، فما إنْ علمتُ بأن اثنين من العلماء في كنيستي قد أسَّسا مبادرة تحت عنوان "رعاية الخلق" Creation Care ، تهدف إلى الربط بين العِلْم وتعاليم الكتاب المقدس والرعاية الكَنَسية، حتى هُرِعتُ إلى الانضمام إليها على الفور. وكان من ثمرة ورش عملنا المصغَّرة أن وُجِّهَتْ إلينا الدعوة للمشاركة في وضع استراتيجية الاستدامة الخاصة بمؤتمر دولي للشباب، كان المتوقَّع أن يحضره 40 ألفًا.

> **تجنَّب الخوض في المناظرات التي تضع العلم في كفة، والدين في الكفة الأخرى. وعوضًا عن ذلك، يحسُن بك تناوُل الأمور ذات الاهتمام المشترك**

توبياس مولر مُحاضِر مشارك في جامعة كامبريدج بالمملكة المتحدة، وباحث ما بعد الدكتوراة في جامعة ليدن بهولندا، متخصص في السياسة، والدين، وتغير المناخ.
البريد الإلكتروني:
tm498@cam.ac.uk

ولكن، للأسف، رفض المنظمون معظم مقترحاتنا. أعتقد أنهم كانوا سيكونون أكثر تقبُّلًا لأفكارنا، لو أننا قدَّمنا أطروحاتنا ضمن إطار يراعي وجهات النظر المسيحية. فقد كان ينبغي علينا، على سبيل المثال، أن نمُدَّ يد العون إلى أعضاء الكنيسة، الذين كانت تواجههم بالفعل مشكلات عدة، مثل مشكلة التصحر، والفيضانات، وغيرها من الآثار المترتبة على تغيُّر المناخ.

من شأن هذه المعالَجة للقضايا العلمية أن تكون فعّالة عند التعامل مع معظم الجماعات الدينية، بالنظر إلى أن أفراد هذه الجماعات يدركون أن تغير المناخ يؤثر تأثيرًا بالغًا على عديد من أقرانهم من المتديّنين في مناطق شتّى، مثل منطقة جنوب آسيا، حيث يعيش كثيرٌ من المسلمين والهندوس، وأفريقيا جنوب الصحراء الكبرى، حيث يعيش عدد كبير من المسيحيين.

وفي الوقت الراهن، أسعى إلى إقناع العلماء بوضع الماضي جانبًا، وأخْذ المجموعات الدينية على محمل الجد، والتعامل معها بوصفها حليفًا في المعركة الدائرة ضد تغير المناخ. في نوفمبر الماضي، نَظَّمْتُ مؤتمرًا (انظر: go.nature.com/3tp2) حول الدين وتغيُّر المناخ، بالتعاون مع معهد وولف، وهو مركز لأبحاث الأديان في كامبريدج بالمملكة المتحدة. حضر المؤتمر نحو 250 شخصًا من أكثر من 20 دولة، أعقبه توجيه دعوات إلى علماء ممن ظهروا في المؤتمر، للمشاركة في فعاليات أقامتها الجماعات الدينية. وبالتعاون مع منظمة "كامبريدج زيرو" Cambridge Zero، وهي منظمة تابعة لجامعة كامبريدج، ترعى أبحاث المناخ، وكذلك مع الجماعات الدينية في جميع أنحاء العالم، تعكف كلية اللاهوت بالجامعة على تنظيم قمة لمناقشة قضية العلم والدين، ضمن وقائع المؤتمر السنوي السادس والعشرين لأطراف اتفاقية الأمم المتحدة الإطارية بشأن تغير المناخ، الذي يُشار إليه اختصارًا بمؤتمر "COP26"، المزمع انعقاده في شهر نوفمبر المقبل في مدينة جلاسجو بالمملكة المتحدة.

وخلال مسيرتنا هذه، تعلَّمنا عددًا من الممارَسات الفعَّالة التي يمكن للعلماء الأخذ بها عند مخاطبة المجموعات الدينية بشأن تغير المناخ.

- **احرص على التعاون مع العلماء المتدينين، وقادة المجتمعات المحلية.** لن تكاد تجد جماعة دينية، مهما بلغَتْ درجة محافظتها، إلا وتضم علماء يدافعون عن العمل المناخي. ابحث عنهم، وتعرَّف على حُججهم، واستشهِدْ بنصوص من الكتب المقدسة، من شأنها أن تلقى صدًى لدى أتباعها، ولْتجعلها جزءًا من حوارك معهم.
- **القصص أبلغ أثرًا من الرسوم البيانية.** الأرقام وحدها لن تنصر قضيتك، فحريٌّ بك أن تركز على جموع المصلِّين، وأقرانهم من المتديّنين، في المناطق الأكثر تضررًا من تغير المناخ. كما أن الكُتب المقدسة تزخر بقصص مروّعة عن الآثار المدمرة للجفاف؛ ففي إمكانك أن توضح كيف أن الدمار الذي تصفه هذه القصص لا يُقارَن بالدمار الذي يمكن أن يخلِّفه تغير المناخ.
- **ابحث عن المساحات المشتركة بينك وبين جمهورك.** يرى قطاع عريض من المتدينين أن العِلْم يهدد قيمهم الراسخة، فكُن مستعدًا لسماع الحُجج الدينية المضادة، وتجنَّب الخوض في المناظرات التي تضع العلم في كفة، والدين في الكفة الأخرى. وعوضًا عن ذلك، يحسُن بك تناوُل الأمور ذات الاهتمام المشترك، مثل: رفاهية مجتمعك، على اعتبار أنه العالَم الذي سينشأ فيه أطفالك. لقد تبيَّن لي أن تركيز النقاش على السؤال: "كيف أكون سلفًا جيدًا للأجيال القادمة؟" يخلق مساحات مدهشة من الأرضية المشتركة.

وإذا كنتَ متدينًا، توجه إلى القسّ، أو الإمام، أو الحاخام، أو أي زعيم محلي آخر، وسَلْه إنْ كان بإمكانك إلقاء محاضرة حول تغير المناخ. وإذا لم يتسنَّ لك ذلك، فإن عيد القيامة، وعيد الفصح، ورمضان تمثل مناسباتٍ مواتية لزيارة الكنيسة، أو المعبد اليهودي، أو المسجد في المنطقة التي تقيم فيها. حبَّذا لو تتمنَّى للحضور عطلة سعيدة، وتدعوهم إلى تناول قدح من الشاي، ثم تسألهم عما إذا كانوا يرغبون في معرفة تداعيات أزمة المناخ على مجتمعهم. ومن هنا، يمكننا بناء تحالف من القوة بحيث يمكن أن يُعيد كتابة التاريخ.



رؤية عالمية

كتب بواسطة
فيجايا راماشاندران

الحظر الشامل لتمويل مشروعات الوقود الأحفوري سيعمق جذور الفقر

تحتاج قارة إفريقيا إلى بنية تحتية للطاقة يمكن الاعتماد عليها، لا نفاق الدول الغنية.

تعهَّدت سبع دولٍ أوربية في شهر أبريل الماضي بأن تُوقف دعمها الضروري لمشروعات الوقود الأحفوري خارج حدودها، وبهذا تنضم إلى الولايات المتحدة ودول أوربية أخرى في وقف تمويل مشروعات البنية التحتية في مجال الطاقة بالدول الفقيرة التي تعتمد على الفحم والغاز والنفط. وسيؤدي هذا الحظر المفروض على تمويل تلك المشروعات إلى ترسيخ الفقر في مناطق مثل إفريقيا جنوبي الصحراء الكبرى، ولكنه لن يسهم في تقليل انبعاثات الكربون على مستوى العالم.

يمثل عدد سكان القارة الإفريقية نحو 17% من سكان العالم، غير أن انبعاثات الكربون بالقارة تقل عن 4%. لذا فليس من العدل أن تسعى الدول الثرية إلى التصدي لظاهرة تغير المناخ على حساب تطور الدول ذات الدخل المنخفض والمرونة المناخية. وبدلًا من ذلك، ينبغي لتلك الدول الغنية أن تقدم يد العون للحكومات الإفريقية لتسعى إلى تنويع مصادر الطاقة لديها تحقيقًا للتنمية السريعة والمستدامة.

إن البنية التحتية الحالية في قارة إفريقيا كثيفة الاستهلاك للكربون وتخدم الدول الأكثر ثراءً بالقارة؛ فدولة جنوب إفريقيا وعدة دول واقعة في شمال إفريقيا تمثل معًا ثلثي قدرة توليد الكهرباء بالقارة. أما باقي الدول البالغ عددها 48 دولة فتبلغ قدرتها نحو 81 جيجا واط فحسب، في حين يبلغ إنتاج القارة بالكامل نحو 244 جيجا واط، ويبلغ إنتاج العالم 9,740 جيجا واط. فمتوسط معدل استهلاك المواطن الإثيوبي يبلغ 130 كيلو واط-ساعة من الكهرباء سنويًا، ما يعادل متوسط استهلاك المواطن الأمريكي في أربعة أيام فحسب.

ويُعد عدم التوازن هذا سببًا ونتيجة في آن واحد لسوء البنية التحتية الحديثة في إفريقيا، إذ يعاني مئات الملايين من البشر في أرجاء إفريقيا كافةً من ندرة الطاقة، وغلاء أسعار الغذاء الذي عادة ما يكون مستوردًا، إضافة إلى مشقة إمكانية العثور على وظيفة بدوام كامل. وكثيرٌ من مقومات التنمية الضرورية -مثل الطرق والمدارس والإسكان والطاقة التي يمكن الاعتماد عليها- يصعب تحقيقها سريعًا بالاعتماد على الطاقة النظيفة وحدها.

يُعد الغاز الطبيعي وقودًا أحفوريًا، ولكن يمكن أن يؤدي دورًا كبيرًا وفعالًا في تحرير المجتمعات من ربقة الفقر، وهو من مصادر الطاقة التي تنتج تقريبًا نصف معدل انبعاثات الكربون التي تنتج عن استخدام الفحم، كما متوافر بغزارة في كثيرٍ من دول إفريقيا غير الواقعة في شمال القارة، مثل نيجيريا وموزمبيق وأنجولا وجمهورية الكونغو الديمقراطية. ويشير "مركز الطاقة من أجل النمو" Energy for Growth Hub -وهو شبكة بحثية عالمية- إلى أنه إذا ضاعفت دول إفريقيا الأقل إنتاجًا للكهرباء، البالغ عددها 48 دولة، استهلاكها من الكهرباء ثلاثة أضعاف بين عشية وضحاها باستخدام الغاز الطبيعي، فإن انبعاثات الكربون الناتجة ستمثل أقل من 1% من القيمة الإجمالية لانبعاثات الكربون حول العالم (انظر: go.nature.com/3app2ff).

كما يوفر الغاز الطبيعي أفضل السبل لتحديث إنتاج الغذاء ووسائل النقل. وعلى الرغم من الجهود المثيرة للإعجاب المبذولة في أنظمة الري بالطاقة الشمسية في بقاع مختلفة من القارة الإفريقية، فإن الغاز الطبيعي لا يزال هو الأنسب للزراعة واسعة النطاق، إذ إنه يمكن الاعتماد عليه، وغير مكلف، وضرر الانبعاثات الناتجة عن حرقه أقل كثيرًا من ضرر الانبعاثات الناتجة عن أنواع الوقود الأحفوري الأخرى. وكذلك يمكن تخزين الغاز لحين الحاجة إليه، كما أنه واحد من أفضل المواد الأولية لإنتاج الأسمدة الصناعية، فضلًا عن إمكانية استخدامه في تزويد السيارات والحافلات والشاحنات والسفن بالطاقة، إضافة إلى أنظمة التخزين البارد. ويعني هذا تقليل معدلات فساد الغذاء، كما سيُمكّن المزارعين من إنتاج مزيدٍ من الطعام باستخدام مساحة أصغر من الأرض.

> **"بما أنني من أنصار التنمية المستدامة، فإنني أومن بأن الوقود الأحفوري لا يزال ضروريًا".**

إن فرض الحظر الشامل على تمويل مشروعات الوقود الأحفوري لن يدفع نمو استخدام الطاقة المتجددة في إفريقيا؛ فهذا النمو يجري حاليًا بالفعل. فالكهرباء في إثيوبيا وكينيا وملاوي ومالي وموزمبيق وأوغندا -التي تمثّل مجتمعة خُمس سكان إفريقيا- تأتي في الأساس من الموارد المتجددة، مثل الطاقة الكهرومائية. كما أن إحداث التنمية عبر الوقود الأحفوري يمكن أن يسير بمحاذاة بناء مصادر الطاقة المتجددة، ليمهد بهذا لمزيدٍ من المشروعات الطموح. وقد أشارت رسالة دكتوراه طُرحت في عام 2020 (انظر: go.nature.com/3tbfg25) إلى أن المولدات المتحركة القابلة للتمديد التي تُدار بالغاز ستصير ضرورية لتحول دولة جنوب إفريقيا إلى الطاقة الكهربائية المتجددة، لأن مصادر طاقة الرياح والطاقة الشمسية ستصبح أكثر تنوعًا في أثناء تطويرهما. إلا أن ثمة خطرًا يكمن في تطويرهما بصورة سريعة للغاية؛ فالإمداد المتقطع الوارد من مزرعة رياح كبرى في كينيا أدى إلى رفع تكلفة تشغيل الشبكة الكهربائية.

سيقول المنتقدون إن أصحاب المصالح في استخدام الوقود الأحفوري سيحاولون الحيلولة دون استخدام مصادر الطاقة المتجددة، وإن الحكومات ربما تقع تحت هيمنة أصحاب المصالح في استخدام الوقود الأحفوري. إنني أتفهم مثل هذه المخاوف، لكن بما أنني من أنصار التنمية المستدامة، فإنني أومن بأن الوقود الأحفوري لا يزال ضروريًا. ويجب على مؤسسات التمويل الدولية أن تولّي الأولوية لتمويل مشروعات الطاقة المتجددة كلما أمكن ذلك، كما يجب على الدول الثرية أن تضخَّ استثماراتها في البحث والتنمية التي ستقلل من تكاليف الطاقة المتجددة. ويجب ألا يغيب عن حساباتهم أزمة الفقر (إذ يعاني نحو ستمئة مليون مواطن إفريقي من عدم إمكانية الوصول إلى مصادر كهرباء يُعتمد عليها). ونظرًا إلى ازدياد معدلات الكوارث الطبيعية والمخاطر المناخية الأخرى، ستزداد حاجة الناس إلى الطرق والمستشفيات وشبكات الطاقة المرنة وأنظمة الإنذار وشبكات الإمدادات الغذائية الكبيرة وأشكال البنية التحتية الأخرى التي تتطلب طاقة كافية.

وبدلًا من حظر استخدام الوقود الأحفوري في مشروعات التنمية، يجب أن يتبنَّى الاتحاد الأوروبي والولايات المتحدة والبنك الدولي، معايير تمويل تضع النمو الاقتصادي في الحسبان إلى جانب التأثير المناخي. فعلى سبيل المثال، سيعمل استغلال مصادر كبيرة، تبلغ 4.2 تريليون متر مكعب من الغاز الطبيعي على طول الحدود بين تنزانيا وموزمبيق، على تعزيز الوصول إلى الكهرباء، وسيولّد دخلًا تحتاج إليه الدولتان ذواتا الدخل المنخفض، قليلتا معدلات الانبعاثات الكربونية. وأقترح إنشاء نظامٍ متدرِّج تكون فيه الدول ذات الدخل المنخفض للفرد والانبعاثات المنخفضة، أو ذات الاستخدام العالي من الطاقة النظيفة، مؤهلة لمشروعات التنمية القائمة على الوقود الأحفوري. وأي بنية تحتية يجري تأسيسها ينبغي أن تكون متطورة وتحظى بصيانة جيدة، لتقليل المخلفات التي تتسبب فيها حوادث التسريب والحاجة إلى إشعال غاز الميثان.

إن جُل الانبعاثات القديمة المُسببة لظاهرة الاحتباس الحراري تنبع من الدول الثرية التي لا تزال تعتمد على الوقود الأحفوري، وسيكون من التعسف والإجحاف أن تُفرض القيود على الدول التي في أمسّ الحاجة إلى البنية التحتية الحديثة، والأقل مسؤولية عما يواجهه العالم من تحديات المناخ.

فيجايا راماشاندران

فيجايا راماشاندران، مديرة قسم الطاقة والتنمية بمعهد بريكثرو في بيركلي، كاليفورنيا.

بريد إلكتروني: vijaya@thebreakthrough.org

أضواء علي الأبحاث

سِحْر الرياضيات يحث أسطوانة على الطفو في الهواء

بمقدور حزام يكسوه الزيت، ويدور مثل سير متحرك عموديًّا أن يحث أسطوانة مثبتة إلى جواره على الطفو في الهواء. وقد طوّر باحثون مؤخرًا نموذجًا رياضيًّا من أجل تفسير هذه الجاذبية المضادة التي تحدث بتأثير لُزُوجة الزيت.

كانت الأبحاث السابقة قد أشارت إلى أنه عند وضع أسطوانة إلى جانب حزام متحرك مغطى بالزيت، ثم إفلاتها، سوف تبدأ في الدوران ويكسوها السائل، وتظل معلّقة في الهواء بمحاذاة الحزام لدى بلوغه السرعة المناسبة، بيد أن النموذج الذي وُضِع لتفسير هذه الظاهرة شابه بعض الثغرات.

وقد نجح موهيت دالوادي - من جامعة أكسفورد بالمملكة المتحدة - وفريقه في سد هذه الفجوات المعرفية، إذ أجرى الفريق البحثي تجارب على أسطوانات متباينة في كتلها وأحجامها، من أجل اكتشاف سرعة الحزام المطلوبة لرفع كل أسطوانة في الهواء. والنموذج الذي طوّره الفريق يراعي كيفية امتزاج الزيت على الأسطوانة بالزيت على الحزام، ويبيّن أن الضغط المتولد بالقرب من نقطة الالتقاء هذه يدعم الأسطوانة في مقاومتها للجاذبية.

J. Fluid Mech. (2021)



ALESSANDRO BREMEC/NURPHOTO/GETTY

مواقف الدول حيال العِلْم تؤثر على ثقة الأفراد في اللقاحات

ثمة الكثير من الشواهد الدالة على أن الأفراد عادةً ما يثقون في اللقاحات إذا كانوا يثقون في العلم بوجه عام. وتشير مجموعة من البيانات المستمدة من دراسة استقصائية شملت 126 بلدًا أن الأفراد عادةً ما يثقون أيضًا في اللقاحات إذا كانوا يعيشون في بلدان ترتفع فيها مستويات الثقة في العلم.

يكافح الآن مسؤولو الصحة العامة حول العالم للتغلب على المواقف المترددة حيال اللقاحات المضادة لمرض "كوفيد-19"، وغيره من الأمراض. وفي سبيل فهم كيفية تأثير المواقف المجتمعية على تردد الأفراد، قام باتريك سترجس، من كلية لندن للاقتصاد والعلوم السياسية، وزملاؤه، بتحليل بيانات مأخوذة مما يزيد على 120 ألف شخص شاركوا في دراسة استقصائية تهدف إلى تقييم مستوى ثقة كل فرد تجاه اللقاحات في سياق مستوى الثقة الأوسع نطاقًا في بلدانهم تجاه العلم.

وقد وجد الفريق أن مستوى ثقة الأفراد في اللقاحات أعلى في البلدان ذات مستويات الثقة الأعلى في العِلْم بصورة عامة، وذلك بصرف النظر عن آراء الأفراد الشخصية في العلم. وقد لوحظ أيضًا أن هذا الارتباط يكون أقوى عندما يسود في بلدانهم إجماع على أن العِلْم جدير بالثقة، وكذلك العلماء.

ويشير مؤلفو الدراسة إلى أن هذه الرؤية قد تؤدي إلى جهد بحثي جديد بشأن كيفية الاستعانة بالإجماع المجتمعي الواثق بالعِلْم في تطوير استراتيجيات فعالة لتعزيز الثقة في القاحات.

Nature Hum. Behav. (2021)

«فويادجر 1» ترصد تموجات ضعيفة في الوسط ما بين النجوم

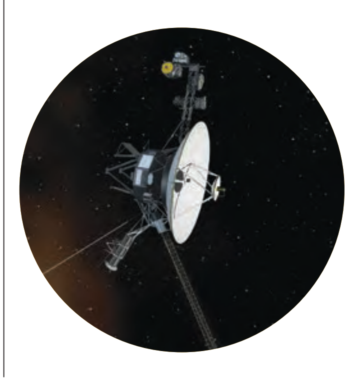
رصدت المركبة الفضائية "فويادجر 1" Voyager 1 تموجات مستمرة في البلازما بين النجمية التي كانت تتنقل عبرها منذ أن غادرت النظام الشمسي في عام 2012. وعن طريق قياس هذه الموجات، أجرى علماء الفيزياء الفلكية أول عملية متصلة لقياس كثافة البلازما بين النجمية؛ وهي الوسط المخلخل الذي يحتل المساحة بين النجوم.

وقد صارت "فويادجر 1"، (في الصورة)، التي أطلقتها ناسا قبل 44 عاما، أول جسم من صنع الإنسان يدخل الفراغ بين النجمي. ورصدت ستيلا أوكر - من جامعة كورنيل في إيثاكا في نيويورك - وزملاؤها موجات البلازما بين النجمية، عن طريق دراسة التغيرات المنتظمة التي سجلتها "فويادجر" في المجال الكهربائي الذي تصادفه أثناء تحليقها بعيدًا عن النظام الشمسي.

تتألف الموجات من إزاحات بين مكونَي البلازما: الأيونات موجبة الشحنة، والإلكترونات سالبة الشحنة. وبالرغم من هذه الإزاحة، تميل البلازما إلى البقاء ثابتة، وألا تذهب الموجات إلى اتجاه معين؛ فيما يشبه التموجات الثابتة في بحيرة في يوم عاصف.

في الماضي، كان علماء الفيزياء الفلكية قد أجروا قياسات مماثلة لموجات البلازما بين النجمية التي تسببت فيها أحداث شمسية، ولكن هذه هي المرة الأولى التي يقيسون فيها كثافة البلازما بشكل متواصل.

Nat. Astro. (2021)



NASA/JPL-CALTECH

GETTY

منطقة المخ التي تتحكم في طريقة حمل الأدوات باليد

من المعروف أن مناطق المخ التي تلعب دورًا في الشعور باليدين تؤثر كذلك على الاستخدام الصحيح للأدوات، مثل الإمساك بالملعقة من مقبَضِها.

وقد أثبتت دراسات سابقة أن مناطق متنوعة في المخ تنشط بصورة أكبر عندما يرى الناس صورًا تظهر الأيدي، مقارنة بالنشاط الذي يطرأ عند رؤيتهم لصور أدوات، ولكنّ ستيفاني روسيه، من جامعة إيست أنجليا في نورويتش بالمملكة المتحدة، وزملاءها اكتشفوا أنه عندما يتعلق الأمر بإمساك الأدوات بطريقة صحيحة، فإن المنطقة البصرية في المخ المسؤولة عن اليدين تفوق أهمية تلك المسؤولة عن الأدوات.

وقد أجرى الفريق تصويرًا بالأشعة على المخ على عشرين شخصًا أثناء استخدامهم ملعقة وسكينًا وقطّاعة بيتزا. كما أُعطى المشاركون أشياء ذات أشكال مستطيلة، ولكنها ليست بأدوات، ثم طُلِبَ منهم الإمساك بهذه الأشياء من مقبضها.

واكتشف الباحثون أن مناطق المخ المسؤولة عن الشعور باليدين استطاعت التأكد من كون الشخص يمسك بالأداة بالشكل الصحيح. ولكن الأمر ذاته لم يتحقق عندما أمسك المشاركون بأشياء غير الأدوات. وتتيح هذه النتائج فهمًا أفضل لكيفية تطور المخ لدعم استخدام الأدوات، الذي يُعَد إحدى السمات المميزة للنوع البشري.

J. Neurosci. (2021)

آثار حجرية ضخمة سبقت بِنَاء الأهرام



AAKSA AND ROYAL COMMISSION FOR ALULA

بقايا ثلاثة هياكل حجرية تُعرف باسم "المستطيلات" في السعودية.

شيّد رعاة الماشية في شبه الجزيرة العربية أوّل آثار العالم الضخمة قبل حوالي سبعة آلاف عام، أي قبل تشييد المصريين القدماء للأهرام، وقبل إقامة نصب ستونهنج على سهول بريطانيا بأكثر من أربعة آلاف عام.

يُطلق على هذه الهياكل اسم "المستطيلات" باللفظ العربي، إشارةً إلى الشكل الذي يميز الباحات المفتوحة في مركزها. وقد وثَّقت ميليسا كينيدي وزملاؤها - من جامعة ويسترن أستراليا في بيرت - العثور على أكثر من ألف مستطيل متناثرة على مساحة تبلغ 200 ألف كيلومتر مربع بصحراء المملكة العربية السعودية كما هي معروفة بحدودها اليوم، حيث شُيّدت هذه الهياكل باستخدام الصخور الموجودة في المنطقة، وامتد طولها في كثير من الأحيان إلى مئات الأمتار، ووُجِدت فُرادى في بعض المناطق، وضِمْن مجموعات في مناطق أخرى. ويتميز أغلبها بمدخل ضيّق عند إحدى نهاياتها.

وقد أجرى الفريق أعمال حفر وتنقيب في أحد مواقع هذه الهياكل، واكتشف شظايا من قرون وعظام لماشية وغزلان وأغنام. وكشف تحليل لهذه البقايا – التي يبدو أنها كانت قرابين شعائرية – عن أن الموقع يعود تاريخه إلى الألفية السادسة قبل الميلاد.

ولعل تشييد المستطيلات الأكبر قد استغرق آلاف الساعات، وهو ما يشير إلى أنّ مَنْ عاشوا في تلك الحقبة تعاونوا على التنظيم وأعمال البناء.

Antiquity (2021)

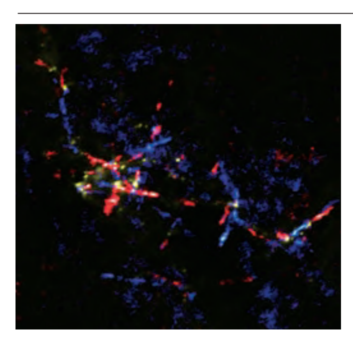
«أطفال الفقاعة» يستفيدون من علاج جيني

لا يعمل جهاز المناعة بكفاءة عند الأطفال المولودين بمرض جيني يُدعى "مرض طفل الفقاعة"، مما يعني أنه حتى الإصابة بعدوى عادية طفيفة قد تؤدي إلى الوفاة، ولكنْ في تجارب إكلينيكية صغيرة، أمكن تطبيق أحد أنواع العلاج الجيني لإعادة بناء الجهاز المناعي عند هؤلاء الأطفال بصورة جيدة، بحيث استطاع 96% منهم التوقف عن تناول الأدوية الرئيسة التي يتناولونها لعلاج هذا المرض.

يُعرف هذا المرض في أدبيات الطب بعوز المناعة المشترك الشديد (SCID)، ولكنه اكتسب اسمه المستعار من الفقاعات البلاستيكية الواقية التي كانت تُستخدم في الماضي لتحيط بالرضع الذين يعانون المرض. وأحد الأنواع الشائعة للمرض ينجم عن طفرة في الجين الذي يرمز لإنزيم "أدينوسين دي أمانيز"، و(يُعرف اختصارًا بـ ADA). وجدير بالذكر أن العلاجات الحالية جميعها تنطوي على أوجه قصور: فالعلاج الإنزيمي التعويضي لا يستعيد النظام المناعي بالكامل، وأحد العلاجات الجينية المصرح بها سابقًا تَسبَّب في الإصابة بسرطان الدم (اللوكيميا) لأحد المرضى الذين تلقّوه.

استخدم دونالد كوهن - من جامعة كاليفورنيا في لوس أنجيليس - وزملاؤه فيروسًا مصممًا للحدّ من خطورة الآثار المسببة للسرطان، لتوصيل جين ADA سليم إلى الخلايا الجذعية للمشاركين. واستطاع 48 طفلًا من أصل 50 طفلًا مصابًا بالمرض من النوع الناجم عن عطل في الجين، الذين حُقِنوا بالخلايا، أن يتوقفوا عن تلقي العلاج الإنزيمي التعويضي، ولم تَظهر على أي منهم أعراض للإصابة بالسرطان.

N. Engl. J. Med. (2021)



ALMA (ESO/NAOJ/NRAO), LU *ET AL.*/ASTROPHYS. J.

النجوم ما زالت تتشكّل في مركز المجرّة

لاحظ العلماء أن مركز مجرة درب التبانة، رغم ظروفه القاسية، يظل هو المكان الذي يشهد ميلاد النجوم.

تعجُّ مراكز المجرّات بالمخاطر، الناجمة عن عوامل مختلفة، تشمل المجالات المغناطيسية القوية، والنجوم المتفجرة؛ وهي مخاطر من شأنها أن تَحُول دون تكوُّن النجوم الصغيرة من سُحُب الغاز والغبار. وقد أشارت إحدى الدراسات السابقة إلى أنّ تكوُّن النجوم في المنطقة البالغ قطرها 500 فرسخ فلكي في مركز مجرة درب التبانة يحدث بمعدّل أقل تواترًا من المناطق الأبعد.

وقد استعان شينج لو، الباحث الذي يعمل في مرصد اليابان الفلكي الوطني في طوكيو، وزملاؤه، بمصفوفة مرصد أتاكاما الكبير (الملّيمتري ودون الملّيمتري)، المُقام في تشيلي، من أجل دراسة المناطق الغازيَّة المتاخمة لمركز المجرة. واكتشف العلماء وجود أكثر من 800 جيب كثيف من الغاز والغبار، ربما تكون بمثابة "أجنّة" للنجوم.

ومن هذه الجيوب، هناك 43 جيبًا تنبعث منها الغازات (الموضّحة في الصورة باللونين الأحمر والأزرق) يُحتمَل أن تكون علامة على تكوُّن النجوم.

Astrophys. J. (2021)

أضواء على الأبحاث

النياندرتال تناولوا الكربوهيدرات بكثرة

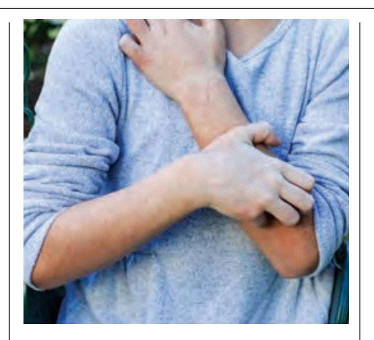
يعج فم إنسان النياندرتال بالبكتيريا التي تحلل الأطعمة النشوية، ما يشير إلى أن النظام الغذائي الغني بالنشويات له جذور قديمة متأصلة في شجرة العائلة البشرية.

يتحكم النظام الغذائي للحيوان وجيناته وعاداته في شكل المجموعة المتنوعة للكائنات المجهرية التي تعيش داخل فمه. ولسبر أغوار تاريخ الميكروبيوم الفموي عند البشر، حلل جيمس فيلوز ييتس في معهد ماكس بلانك لعلوم التاريخ البشري في ينا بألمانيا، وزملاؤه، جينوم ميكروبات كُشِطَت من أسنان أفراد من الرئيسيات وأشباه البشر؛ وهما سلالتان ضمن شجرة الحياة يفصل بينهما 40 مليون عام. وأثناء هذه المدة اتجه الإنسان إلى أكل النباتات المزروعة، كما حدثت تغيرات أخرى ربما تكون قد أثَّرت على التنوع الميكروبي.

عثر الفريق على الأنواع العشرة ذاتها من البكتيريا في الإنسان الحديث، والنياندرتال، والسعدان، والقرد، مما يشير إلى أن هذه الحيوانات تنتمي إلى أصل واحد، ولكنّ النياندرتال والإنسان الحديث، اللذَين ينتميان إلى جنس البشر *Homo*، يملكان أنواع بكتيريا لم يُعثر عليها عند غيرهما، منها مجموعة من بكتيريا المكوّرات العقدية *Streptococcus*، التي تساعد عادة في هضم الأطعمة النشوية.

وكانت الجينات التي تُمكِّن بكتيريا المكورات العقدية من تحويل النشويات إلى سكريات غنية بالطاقة أكثر توافرًا في الإنسان الحديث عنها في النياندرتال، مما يشير إلى أن الاعتماد على النشويات نما أثناء مراحل تطور الإنسان.

Proc. Natl Acad. Sci. USA (2021)



لَصْقَة جلد تميِّز الحكّات

يمكن لمستشعر قابل للارتداء، يقيس الوتيرة التي يحكّ بها الأطفال جلودهم، أن يقدّم للأطباء وسيلة مباشِرة لقياس درجة الشعور بالحكة.

الْتِهابُ الجِلْدِ التَّأَتُّبِيّ هو مرض يصيب الجلد، والاسم الشائع له هو "الإكزيما"، وهو يتسبب في حكّة مزمنة. ويمكن أن يصل المرض إلى حالة شديدة تؤدي بالأطفال إلى حكّ بشرتهم ليلًا، بدلًا من النوم، وهو ما يسفر عن نقص نموهم. وحتى الآن، فالوسيلة الموثوقة الوحيدة لقياس فعالية علاجات إيقاف الحكّة ليلًا هي تحليلات تستنزف الوقت لتسجيلات كاميرات تَستخدِم الأشعة دون الحمراء.

ومن هنا، طوَّر جون روجرز، وشواي شو - من جامعة نورث ويسترن في إيفانستون بولاية إيلينوي الأمريكية - وزملاؤهما مستشعرًا يستقر على ظهر يد الطفل، ويستعين بإشارات صوتية وميكانيكيّة، من أجل قياس عدد الحكّات التي تبدأ من الذراع، والمعصم، والأصابع، وأطراف الأصابع. وتمكن واضعو الدراسة، من خلال تكوين شبكة من المتطوعين الأصحاء، من تدريب خوارزمية على اكتشاف الحركات التي تشكّل فعل الحكّ، وتلك التي لا تشكّله، ثم اختبروا جهاز الاستشعار هذا على أحد عشر طفلًا يعانون من الْتِهابِ الجِلْدِ التَّأَتُّبِيّ المتوسط إلى الشديد على مدار 46 ليلة.

وعندما قارنوا هذه النتائج بتلك التي توصلوا إليها من بيانات كاميرا تَستخدِم الأشعة دون الحمراء، اكتشفوا أن الجهاز تمكّن من التعرّف بشكل صحيح على 84% من حركات الحكّ، وتعَرّف بدقة بلغت 99% على الحركات التي لا تشكّل فعل الحكّ.

Sci. Adv. (2021)

دوران النجوم السريع بعد الفشل في الاندماج

رصد بعض علماء الفلك ثلاثة نجوم قزمة بُنّية تدور بأسرع معدلات أمكن تسجيلها على الإطلاق في حالة هذه الأجرام، التي توصف أحيانًا بأنها "النجوم الفاشلة".

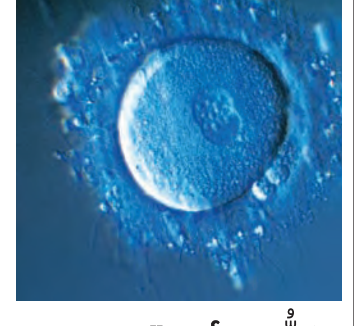
النجوم القزمة البُنّية (صورة انطباعية) هي أجرام سماوية ذات كتل تتراوح بين كتل الكواكب الكبيرة، التي تشبه كوكب المشترى، وبين أصغر النجوم العادية. وتتصف هذه النجوم بأنها أكثر برودة وخفوتًا من النجوم العادية، لأنها صغيرة جدًّا لدرجة لا تستطيع معها أن تحافظ على اندماج نووي طويل المدى.

أجرت ميجان تانوك من جامعة ويسترن أونتاريو في لندن بكندا، ومعاونوها، تحليلًا على ما يقرب من 80 نجمًا من النجوم القزمة البُنّية، التي أظهرت تباينات منتظمة في درجة سطوعها وطيفها الضوئي. وكانت النتيجة التي توصلوا إليها أن هذه التباينات تحدث عند ظهور واختفاء بقع أكثر سطوعًا على أسطح النجوم أثناء دوران تلك النجوم، وأن قياس مدة هذه التباينات يعطي تقديرًا دقيقًا لسرعة دوران النجم.

ووجد المؤلفون أن ثلاثة من النجوم القزمة البُنّية سجلت فترات دوران قصيرة، تراوحت من ساعة و5 دقائق إلى ساعة و14 دقيقة. ويشير هذا التقارب الزمني بين الفترات إلى احتمالية اقتراب سرعة حركة الأجرام من الحد الأقصى لها، وأنّ تجاوُز هذا الحد من شأنه أن يتسبب في تفكك هذه النجوم وانهيارها.

Astron. J. (2021)





تكوُّن الأجنة يخفق أكثر مما ينجح

بعدما يخصِّب الحيوان المنوي البويضة، يُفترض أن تتحد الكروموسومات من كليهما (الدوائر الممتزجة ببعضها البعض في الصورة) لتنتج جينومًا واحدًا. وتكشف الملاحظات للأجنّة المتكوّنة عن أن هذه العملية بالغة الأهمية تخفق غالبًا، وهو ما يساعد على تفسير السبب وراء امتلاك ما لا يقل عن نصف الأجنّة البشرية المتكوّنة حديثًا لعدد خاطئ من الكروموسومات، إذ يظهر لدى نسبة تتراوح ما بين 50% و70% من الأجنّة البشرية ما يُطلق عليه اختِلال الصِّيغة الصِّبْغيَّة، أي عدد غير طبيعي من الكروموسومات. وغالبًا ما يسقط الحمل بهذه الأجنّة.

ولاكتشاف السبب وراء هذا الشيوع الكبير لاخْتلالِ الصِّيَغ الصِّبْغيَّة، استخدمت ميلينا شو - من معهد ماكس بلانك للكيمياء الفيزيائية الحيوية في جوتينجن بألمانيا - وفريقها مجاهر عالية الدقة، من أجل رصد المراحل الأولى من تطوّر أجنّة البشر والأبقار. واكتشف الفريق وجود مرحلة حاسمة في تطوُّر هذه الأجنة؛ يتجمع فيها جينوما الأم والأب – اللذان يبدآن مغلَّفَين بِبنى خاصة – حول الموضع الذي سيلتحمان عنده مع بعضهما البعض.

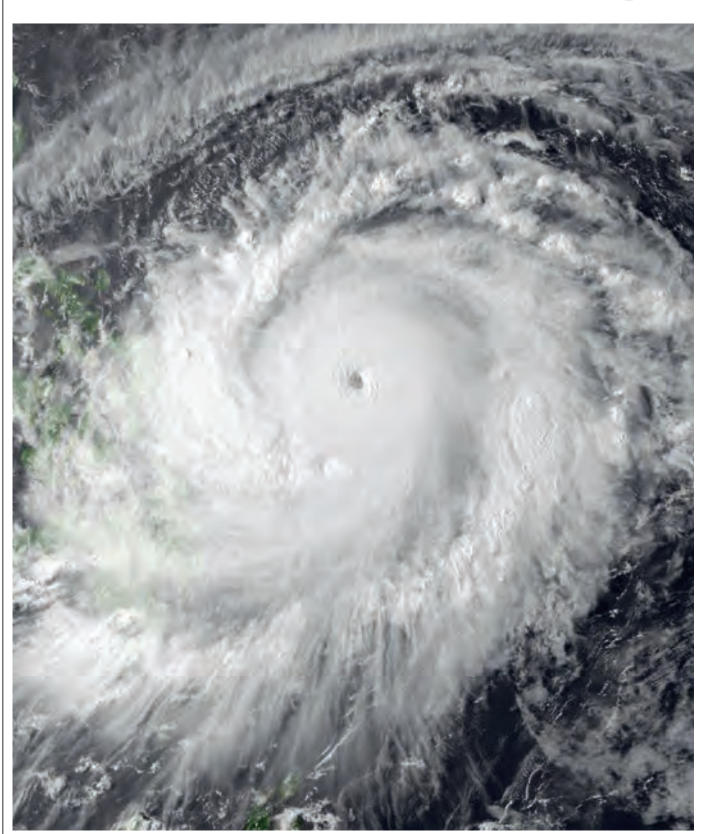
وهذا يتيح عملية الاتحاد السريع الخالي من الأخطاء بين الجينومين، بيد أن هذه العملية المعقدة تشتمل على الكثير من الخطوات التي مِنَ الوارد أن تخفق. وتؤدي هذه الإخفاقات إلى اختلال الصِّيغة الصِّبْغيَّة، ونشوء شظايا من النُّويّات التي تحوي مجموعات فرعية من الكروموسومات، وكلا الخطأين يعوق تكَوُّن الأجنّة السليمة.

Cell (2021)

nature.com

للاطلاع على آخر الأبحاث المنشورة في *Nature* قم بزيارة
www.nature.com/latestresearch

المياه الدافئة أوقفت مسار العواصف



NASA VIA WIKIMEDIA COMMONS

إعصار سوريجاي يلوح فوق شمال غرب المحيط الهادئ في إبريل 2021.

كان اعتدال درجات الحرارة على نحو غير معتاد في المحيط الهندي سببًا رئيسًا لغياب الأعاصير المدارية في المحيط الهادئ في يوليو 2020، وهو غياب غير مسبوق على مدار 55 عامًا من بداية تسجيل الأرقام.

يمكن للأعاصير المدارية التي تحدث في شمال غرب المحيط الهادئ أن تُلحِق الدمار بالمناطق الساحلية، تمامًا مثلما تفعل أعاصير المحيط الأطلنطي، ولكن في يوليو من العام الماضي لم يشق إعصار مداري واحد طريقه إلى المنطقة. وهو غياب لم يسجَّل منذ أن بدأت الأقمار الصناعية في رصد نشاط الأعاصير المدارية في عام 1965.

وقد عمد ليجوانج وو، من جامعة فودان في شنجهاي، وتشاو وانج من جامعة نانجينج لعلوم وتكنولوجيا المعلومات، وكلاهما في الصين، وزملاؤهما، إلى تحليل بيانات المحيطات والغلاف الجوي، بحثًا عن تفسير لهذه الظاهرة. ووجدوا أن درجات الحرارة السطحية في المحيط الهندي، في يوليو 2020، سجلت أعلى مستوياتها على الإطلاق، مما أدى إلى ارتفاع ضغط نظام الغلاف الجوي، الذي حال دون تكوُّن الأعاصير المدارية. وقد أسهمَتْ درجات الحرارة غير المعتادة في المحيط الأطلنطي والمحيط الهادئ في حدوث ذلك أيضًا.

ويشير المؤلفون إلى أنّ التغيّر المناخي يؤدي إلى ارتفاع درجة حرارة المحيط الهندي على نحو أسرع مما هو الحال عليه في المياه الاستوائية الأخرى، وهو ما يعني حسب قولهم أنّ ظاهرة اختفاء الأعاصير المدارية قد تصبح أكثر شيوعًا في المستقبل.

Geophys. Res. Lett. (2021)

الفحص الجينومي يدعم جهود علاج سرطان الأطفال

نجح العلماء، عن طريق إجراء فحص جينومي النطاق لثلاثة عشر نوعًا من أورام الأطفال، في الكشف عن دلائل تشير إلى نقاط ضعف محتملة في هذه الأورام، بل وأدركوا أيضًا وجود ثغرات في سرطانات الأطفال، لا مثيل لها في الأورام التي تصيب البالغين.

غالبًا ما تحتوي سرطانات الأطفال، مثل سرطان الخلايا البدائية العصبية، وورم "ساركوما إيوينج" Ewing's sarcoma، على جينومات "هادئة"، تشتمل على طفرات أقلّ بكثير من تلك التي ترتبط بسرطانات البالغين. وقد سَعَتْ فرانسيسكا فاسكس، الباحثة بمعهد برود، التابع لمعهد ماساتشوستس للتكنولوجيا وجامعة هارفارد في مدينة كامبريدج بولاية ماساتشوستس، وكيمبرلي شتيجماير، من معهد دانا-فاربر لأبحاث السرطان في مدينة بوسطن بولاية ماساتشوستس، بمعاونة زملائهما، إلى تحديد الجينات الضرورية لبقاء خلايا سرطانات الأطفال. قد تمثِّل هذه الجينات أهدافًا جديدة لعلاج هذه الأنواع السرطانية التي يصعُب علاجها.

استعان الفريق بتقنية التحرير الجيني "كريسبر-كاس9" CRISPR-Cas9 من أجل تحديد الجينات الضرورية في 82 خطًا من خطوط خلايا سرطانات الأطفال، وتعطيلها. وعلى الرغم من قلة الطفرات في هذه الأنواع السرطانية، لوحظ أن هذه الخلايا قد اعتمدت في بقائها على عدد من الجينات، مساوٍ تمامًا لعدد الجينات التي تعتمد عليها الخلايا السرطانية لدى البالغين.

ومن اللافت للانتباه أن جزءًا من الجينات الضرورية كانت مشتركة بين سرطانات الأطفال وسرطانات البالغين؛ وهو ما قد يُتيح الفرصة لإعادة توظيف العقاقير المخصَّصة لعلاج البالغين، بحيث تُستخدم في علاج سرطان الأطفال. غير أن جيناتٍ كثيرة كانت تخصُّ سرطانات الأطفال دون غيرها، وهو ما يشير إلى ضرورة تركيز الجهود الرامية إلى اكتشاف الأدوية الموجَّهة خصيصًا لعلاج سرطانات الأطفال.

Nature Genet. (2021)

VINCENT LEGRAND/AGAMI PHOTO AGENCY/ALAMY

تحديد الوقت في بقعة لا تغيب عنها الشمس

يعيش طائر بطرميجان السفالبارد *Lagopus muta hyperborea* حياته في بقعة في أقصى الشمال لا يطأها طائر غيره حيث يقضي شتاءً قارسًا في ظلام دائم، وصيفًا حارًا لا تغيب شمسه طيلة أربع وعشرين ساعة، ولكنْ يبدو أنه حتى البطرميجان يملك ساعة داخلية حساسة للضوء، تخبره بحلول موعد موسم التكاثر.

تمتلك معظم الطيور ساعات داخلية تحثها على أداء مهام معينة في أوقات محددة خلال اليوم، ولكن في فصل الصيف، يعيش بطرميجان السفالبارد (في الصورة) تحت شمس منتصف الليل، ولا يتبع نشاطه نمطًا ثابتًا على مدار الأربع والعشرين ساعة.

ومع ذلك، فقد وجد ديفيد هازليريج، وألكسندر ويست، وزملاؤهما من جامعة ترومسو في النرويج، أن الجينات الرئيسة المسؤولة عن تحديد الأنماط المنتظمة على مدار 24 ساعة، تكون نشطةً في دماغ هذا الطائر الذي يعتمد على الساعة البيولوجية اليومية في تحديد أوقات الأحداث الموسمية. ففي حالة الطيور التي تبقى في الضوء باستمرار، تنشط الجينات المرتبطة بالتكاثر، ويزيد نشاط الطيور استعدادًا للتزاوج. تشير تجارب الباحثين إلى أنه بعد 14 ساعة من شروق الشمس، تتحقق الساعات الداخلية للطيور مما إذا كانت الشمس ما تزال ساطعة، أم غاب ضوؤها.

Curr. Biol. (2021)

موجز الأخبار

مراقبة الاتجاهات

لاعبات كرة القدم أكثر عرضة لإصابات الرأس

وجدَتْ دراسةٌ أجريت على أكثر من 80 ألف لاعب ولاعبة كرة قدم في سن المراهقة في عدد من المدارس الثانوية في الولايات المتحدة الأمريكية أن لاعبات كرة القدم أكثر عرضةً بمقدار الضعف تقريبًا للإصابة بارتجاج في المخ، مقارنةً بأقرانهن من الذكور.

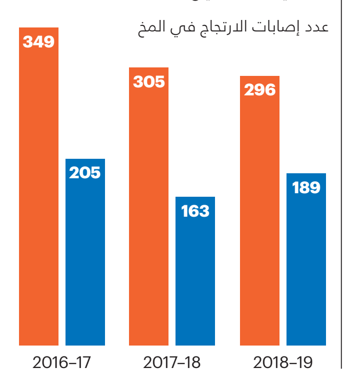
حلل الباحثون بيانات دراسة استقصائية أجريت على حوالي 43 ألف لاعب، و39 ألف لاعبة من مدارس تقع في ميشيجان على مدار ثلاثة أعوام أكاديمية. وقد اكتشف العلماء أن فرص حدوث إصابات في الرأس بسبب الرياضة في الفتيات تزيد على مثيلاتها عند أقرانهن من الفتيان بأكثر من 1,88 مرة، وفقًا لنتائج نُشِرَت في السابع والعشرين من إبريل الماضي (.A. C. Bretzin *et al*. *JAMA Netw*. *Open* **4**, e218191; 2021)

وإلى جانب ذلك، اختلفت كذلك الطريقة التي تتعرض بها اللاعبات للإصابة، مقارنة بالذكور؛ إذ إن الاصطدام بلاعب آخر كان الطريقة الأكثر شيوعًا عند الذكور للتسبب في الإصابة بارتجاج في المخ، في حين أن الإناث كن أكثر عرضة للإصابة بارتجاج في المخ بعد الارتطام بجسم آخر، مثل الكرة، أو عارضة المرمى. وفوق كل ذلك، كان الفتيان في غالبية الحالات يُخرجون من الملعب على الفور، حال تعَرُّضهم لاشتباه إصابة في الرأس، وبصورة أسرع من الفتيات.

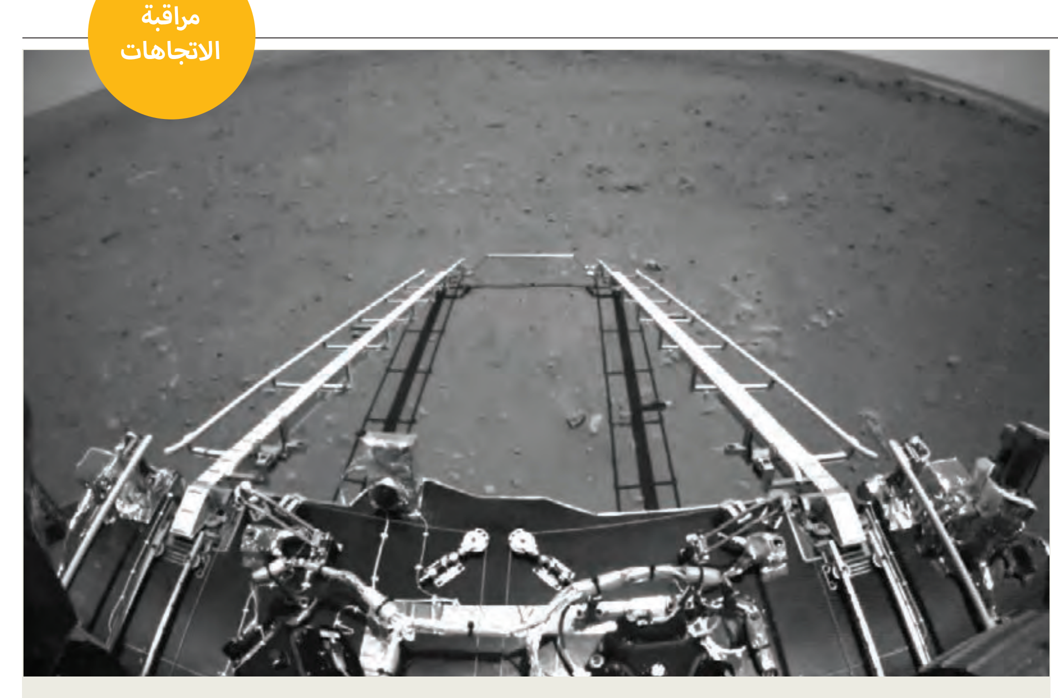
خطورة الإصابة بارتجاج في المخ

وجدت دراسة استقصائية أجريت على أكثر من 80 ألف لاعب ولاعبة كرة قدم في المرحلة الثانوية أن الفتيات أكثر عرضة للإصابة بارتجاج في المخ، مقارنة بالفتيان، بنسبة تعادل الضعف تقريبًا.





اللقطات الأولى من مركبة «مارس روفر» الصينية



كشفت إدارة الفضاء الوطنية الصينية (CNSA) عن أولى الصور التي التقطتها مَرْكَبَتها الجوالة "تشورونج" Zhurong من على سطح كوكب المريخ، الذي وصلت إليه المركبة في شهر مايو الماضي.

ويقول العلماء إن اللقطات التي تُظهِر انبساط ألواح المركبة الشمسية ومنحدر الإنزال بها تشير إلى أنها قد وصلت إلى موقعٍ مثاليٍّ، يُمكِّنها من أداء أعمال الاستكشاف انطلاقًا منه.

ويقول ألفريد ماكوين، عالِم الكواكب من جامعة أريزونا بمدينة توسان: "تُظهِر الصور الأولى، قبل أي شيء، تضاريس سيكون من السهل قيادة المَركَبة عليها". ويعبر ماكوين، وعلماء فضاء آخرون، عن سعادتهم الغامرة برؤية موقع هبوط المركبة الذي يظهر مسطحًا إلى حد كبير، وخاليًا من العوائق، مثل الحُفَر، والصخور، والجَلامِيد. ومن هناك، يمكن للمركبة أن تتجول لمسافات طويلة، وصولًا إلى المعالم المثيرة للاهتمام التي تظهر في صور الأقمار الصناعية.

ويقول يويان تشاو، عالِم الكيمياء الجيولوجية الكوكبية من معهد الكيمياء الجيولوجية بالأكاديمية الصينية للعلوم في مدينة جوييانج: "نشعر بالحماس الشديد، لكننا ما زلنا ننتظر ورود المزيد من الصور عالية الدقة".

وتُظهِر صورة بالأبيض والأسود، مأخوذة من كاميرا مُوَجَّهة نحو الأمام بالمركبة، وبها خاصية تفادي العوائق، وذات عدسة واسعة الزاوية، مُنحَدَرًا نازلًا من منصة الهبوط، بسطته المَركَبة الجوالة "تشورونج" خارجها. وتكشِف صورة ثانية مُلَوَّنة مشهدًا من كاميرا ملاحية موجهة نحو مؤخرة المركبة الجوالة، يظهر فيه هوائي استقبال امتد من المركبة، وألواح شمسية لها على شكل أجنحة الفراشة.

ويقول جوزيف ميشالسكي، عالِم الكواكب من جامعة هونج كونج، إن هذه الصور الفوتوغرافية "فائقة الجودة"، كما هو واضح، كما إنها مثيرة للاهتمام جدًا من النَّاحية العلمية". ويضيف قائلًا إن الباحثين "سيحتاجون إلى بعض الوقت للبحث المتعمق في التَّفاصيل". ويستطرد: "لكن الصور جَذَّابة ومُشَجِّعة".

ويقول العلماء إن المظهر الطبيعي المُسَطَّح الذي يُمكِن رؤيته من صور المركبة يعِد بالكثير، لأنه يعني أن المَركَبة الجوالة تشورونج" يُمكِن أن تصل إلى معالم ذات أهمية جيولوجية على بعد عدة كيلومترات. ومن ملامح اليابسة المثيرة للاهتمام، بالنسبة إلى العلماء، مَعْلَم مخروطي الشكل أمكن رؤيته في اللقطات الجوية، ربما يكون بركانًا طينيًّا، يقع في المنطقة الشمالية الشرقية.

ومن المُتوَقَّع أن تستمر مهمة المَركَبة الجوالة "تشورونج" لثلاثة أشهر، لكن العربة الجوالة قد تصمد لفترة أطول، وتقطع مسافات كبيرة، كما فعلت المَركَبات الجوالة الأخرى التي تعمل بالطاقة الشمسية.



للاطلاع على آخر الأخبار من
Nature قم بزيارة
www.nature.com/news

بروتينات حساسة للضوء تساعد كفيفًا على الإبصار

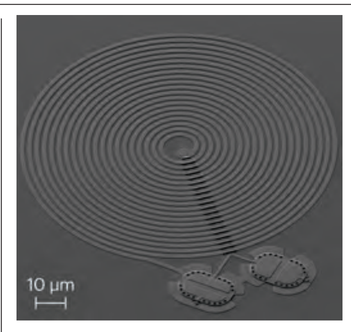
بعد أربعين سنة من العيش في الظلام، تمكن رجل يبلغ من العمر 58 عامًا من رؤية الصور والأشياء المتحركة من جديد، بفضل حَقْن شبكة عينيه ببروتينات حساسة للضوء. وتعد هذه أول محاولة إكلينيكية ناجحة لتطبيق علم البصريات الوراثية؛ وهو تقنية تُستَخدَم فيها ومضات ضوئية لتنظيم التعبير الجيني وتحفيز الخلايا العصبية.

يعاني هذا المريض من التهاب الشبكية الصباغي؛ وهو مرض تنكسي يدمر الخلايا المستقبِلة للضوء في العين، التي تمثل المحطة الأولى على طريق المسار البصري. وفي الشبكة السليمة، تستطيع المستقبلات الضوئية استشعار الضوء، ثم ترسل إشارات كهربائية إلى خلايا العقد العصبية الشبكية (RGCs)، التي ترسل بدورها الإشارات إلى المخ. ومن ناحية أخرى، يعتمد العلاج بعلم البصريات الوراثية على إغفال خلايا المستقبلات الضوئية المتضررة بالكامل، ويحدث ذلك باستخدام فيروس ينقل البروتينات البكتيرية الحساسة للضوء إلى خلايا العقد العصبية الشبكية، ما يعين هذه الخلايا على تمييز الصور مباشرة.

حَقَنَ الباحثون الفيروس في عين المريض، ثم انتظروا أربعة أشهر حتى تثبت عملية إنتاج البروتين في خلايا العقد العصبية الشبكية، قبل إخضاع المريض لاختبار البصر.

واستعان الباحثون بمجموعة من النظارات المصممة خصيصًا، التي تلتقط المعلومات البصرية بواسطة كاميرا، وضبطوها باستخدام البروتينات بحيث تتمكن من رصد الضوء. وقد ميز الرجل صور شديدة التباين، تضمنت أشياء موضوعة على طاولة، والخطوط البيضاء المخصصة لعبور المشاة (J. A. Sahel *et al*. *Nature Med*. https://doi.org/gj6mvv; 2021).

كان ستة مرضى غيره قد حُقِنوا بنفس البروتينات الحساسة للضوء في العام الماضي، ولكن الجائحة عطلت تدريبهم على استخدام النظارات. ومن المتوقع أن يصدر المزيد من النتائج بشأن التجربة في غضون عام تقريبًا.



FLORENT LECOQ AND SHLOMI KOTLER/NIST

طبلتان صغيرتان توسعان حدود ظاهرة كمّية غريبة

بتشغيل طبلتين ضئيلتي الحجم، استطاعت مجموعة من علماء الفيزياء تقديم أكثر دليل مباشر حتى الآن على أن التشابك الكَمِّي (وهو ظاهرة غريبة، عادةً ما ترتبط بالجسيمات دون الذَّرية) يحدث كذلك مع أجسام أكبر حجمًا.

وفي تجربة أجريت في المعهد الوطني الأمريكي للمعايير والتقنية في بولدر بولاية كولورادو، استطاع الفيزيائي شلومي كوتلر ومعاونوه تصميم زوج من الأغشية الاهتزازية من مادة الألومينيوم، يشبهان طبلتين صغيرتين، ويبلغ طول الواحد منها 10 ميكرومترات.

استطاع الفريق البحثي بعد ذلك التلاعب بالغشاءين من خلال تسليط فوتونات ميكروية التردد عليهما، لتحفيز عملية اهتزاز متزامنة، بطريقة تجعل اهتزازاتهما في حالة تشابك كَمّي. وفي أي وقت محدد تهتز فيه الطبلتان إلى أعلى وإلى أسفل، وتُقاس قيمة الإزاحة من الوضع السطحي، يتضح أنهما كانتا في نفس الموضع بالضبط. وبقياس سرعتهما المتجهة، اتضح أنها ذات قِيَم متضادة تمامًا.

وعلى الرغم من صعوبة رؤية هذه التراكيب بالعين المجردة، إلا أنها ضخمة بالمعايير الكمية، فكل طبلة تحتوي على ما يقرب من تريليون ذَرّة. النتائج التي نُشِرَت في السادس من مايو الماضي (S. Kotler *et al*. *Science* **372**, 622-625; 2021) يمكن أن تساعد الباحثين على إنشاء حواسيب كمّية، بإمكانها إجراء عمليات حسابية تتجاوز قدرات الحواسيب العادية.

عدّاد لقاحات «كوفيد» يكسر حاجز المليار جرعة

وصل العالم إلى لحظة محورية مع توزيع مليار جرعة من لقاحات "كوفيد-19". يأتي ذلك بعد مرور أربعة أشهر فحسب على اعتماد منظمة الصحة العالمية الاستخدامَ الطارئ للقاح الأول. ومنذ ذلك الوقت، أُطلِقَت حملات تلقيح في دولٍ مثل الولايات المتحدة الأمريكية، والمملكة المتحدة.

ويقول الباحثون إن سرعة الإقبال على تَلَقِّي اللقاح لافتة للنظر، ولكن التوزيع غير العادل للقاحات يسلط الضوء على أوجه التفاوت عالميًّا.

وتقول سوميا سوامِيناثان، كبيرة العلماء في منظمة الصحة العالمية، الواقعة في جينيف بسويسرا: "إنه إنجاز علمي غير مسبوق. لم يكن أحد ليتخيل أنه في غضون 16 شهرًا من التعرُّف على فيروس جديد سنكون قد تمكَّنا من تحصين مليار شخص حول العالم".

وبحلول السابع والعشرين من إبريل الماضي، بلغ عدد جرعات اللقاحات 1.06 مليار جرعة، أُعطيَت لـ570 مليون شخص، مما يعني أن 7.3% تقريبًا من سكان العالم، البالغ عددهم 7.79 مليار نسمة، قد تلقوا جرعة واحدة على الأقل. ولكنّ العلماء يقولون إن السيطرة على الجائحة تستلزم تحصين أكثر من 75% من سكان العالم.



MICHAEL W. DAVIDSON/SCIENCE PHOTO LIBRARY

طريقة للتعرف على عقاقير «سايكاديلك» غير مهلوسة

استطاع بعض العلماء، أثناء دراستهم للعلاجات القائمة على عقاقير "سايكاديلك" psychedelic، تصميم طريقة لمعرفة احتمالية أن يكون لأحد الجزيئات تأثير مُهَلْوِس، دون حاجة إلى تجربته على أشخاص أو حيوانات.

وقد تَعَرَّف الباحثون، باستخدام نهجهم البحثي، على جزيء شبيه بعقاقير "سايكاديلك"، ولكنه لا يسبب الهلوسة، وإنْ كان قد أظهر تأثيرًا مضادًّا للاكتئاب في الفئران (C. Dong *et al*. *Cell* https://doi.org/gjtmmt; 2021).

وتتواتر الأدلة على أن مركبات "سايكاديلك" ربما تستطيع علاج حالات مثل اضطراب كرب ما بعد الصدمة، ولكنْ لم يتضح بعدُ ما إذا كانت هناك طريقة للاستفادة من خصائصها العلاجية، دون التسبب في ظهور "الهلاوس" كأعراض جانبية.

والحقُّ أن تَوَقُّع ما إذا كان أحد الأدوية المحتمَلة سيتسبب في حدوث هلاوس، دون تجربته، يكاد أن يكون ضربًا من المستحيل. وللتعامل مع هذه المشكلة، صمّم فريق بقيادة عالِمَي الأعصاب ديفيد أولسون، ولين تيان، من جامعة كاليفورنيا في ديفيس، جهازَ استشعار فلوريّ حيوي، مستوحًى من بِنْية مستقبِل في المخ، خاص بالمُوَصِّل العصبي السيروتونين، وهو المستقبِل الذي تستهدفه عقاقير "سايكاديلك". وعندما ترتبط المركّبات بجهاز الاستشعار، تُغَيِّر شكلها؛ مما يؤثر على شدة الضوء المنبعث منها. ويمكن استغلال ذلك في تَوَقُّع التأثير الذي سيُحْدِثه المركّب على مستقبِل سيروتونين حقيقي، مما يجعله حسب قول تيان: "يعمل كجهاز رادار لاستشعار احتمالية أن يكون العقار مسبِّبًا للهلوسة".

A. C. BRETZIN *ET AL*. JAMA NETW. OPEN 4, E218191; 2021

أخبار في دائرة الضوء



SANDRA SANDERS/REUTERS

هل تتوفر لقاحات للعالَم أجمع؟ يرى الباحثون أنه من المستبعد أن يتم تطعيم مواطني الدول ذات الدخول المنخفضة قبل نهاية عام 2022.

ما الذي نحتاجه ليحصل العالم بأكمله على تطعيم ضد «كوفيد-19»؟

تقرير خاص يوضح التحديات التي تواجهنا لإنهاء تطعيم سكان العالم، بدءًا من العقبات التي تعترض الاستفادة من إمكانيات لقاحات الحمض النووي الريبي المرسال، وصولًا إلى تلك التي تعرقل الجهود الساعية لتعليق حقوق الملكية الفكرية مؤقتًا.

آيسلِنج إيروين

أنتجت شركات الأدوية خلال فترة لا تتجاوز عدة أشهر مئات الملايين من جرعات لقاح "كوفيد-19"، لكن ما يزال العالم بحاجة إلى مليارات الجرعات، وبأقصى سرعة.

وترى الشركات أن بوسعها تصنيع لقاحات تكفي لتطعيم معظم سكان العالم بحلول نهاية عام 2021، بيد أن ذلك التصريح لا يأخذ في الحسبان التأخير في توزيع اللقاحات، الذي ينتج عن عوامل سياسية، مثل فرض بعض الدول قيودًا على التصدير، أو حقيقة أن الجزء الأكبر من الجرعات يذهب إلى الدول الأكثر ثراءً. وقد تَسبَّب هذا الوضع في إطلاق حملة تطالب بإسقاط حقوق الملكية الفكرية، حتى يتمكن المصنّعون في الدول الأكثر فقرًا من إنتاج اللقاح محليًّا بسرعة أكبر.

كم عدد اللقاحات التي يمكن تصنيعها على مستوى العالم خلال هذا العام؟

يتوقع رازموس بيك هانسين، المدير التنفيذي لشركة "إيرفينيتي" Airfinity لتحليل البيانات في لندن التي تجمع بيانات عن تصنيع الأدوية، أن يرتفع معدل تصنيع اللقاحات بمعدلات "أُسّية" خلال الشهور القادمة. وتفيد البيانات التي قدمَتْها شركة "إيرفينيتي" أنه بحلول شهر مارس الماضي كان قد تم تصنيع حوالي 413 مليون لقاح مضاد لفيروس "كوفيد-19". وتتوقع الشركة ارتفاع هذا الرقم إلى 9.5 مليار جرعة مع نهاية عام 2021. وكان مركز الابتكار الصحي العالمي بجامعة ديوك في مدينة دُرام بولاية نورث كارولاينا الأمريكية قد نشر توقعات بأرقام أكبر، بعد أن قام الباحثون بالمركز بتجميع التنبؤات التي أعلنها مصنّعو اللقاحات، والتي جعلت الرقم المتوقع مع نهاية العام يصل إلى 12 مليار جرعة، لكنّ أندريا تايلور، التي رأست فريق البحث في جامعة ديوك، تقول إن هناك إمكانية كبيرة لتحقيق هذين الرقمين مع نهاية 2022. كما صرحت تايلور بأنه "من المحتمل أن يتوقف إنتاج بعض المورّدين، وكذلك أن تهدد بعض الدول بحظر تصدير

"اللقاحات،" وهو ما يحدث بالفعل، بالتزامن مع وضع الهند والاتحاد الأوروبي قيودًا على تصدير اللقاحات.

وقد يحتاج تصنيع اللقاح إلى ما يقرب من 200 مكوِّن منفصل، يجري تصنيعها في الغالب في عدة دول، منها: القوارير الزجاجية، والفلاتر، والراتنجات، والأنابيب، وأكياس النفايات. وقد صرح ريتشارد هاتشيت، المدير التنفيذي لتحالف ابتكارات التأهب الوبائي Coalition for Epidemic Preparedness Innovations، وهو منظمة غير حكومية، مقرها مدينة أوسلو، خلال مؤتمر ضم مصنعي الأدوية وصانعي السياسات، عُقد خلال الشهر الماضي – قائلًا: "إن حدوث نقص في أيّ من هذه العناصر من شأنه أن يعرقل عملية التصنيع بأكملها".

وأعرب مارتن فريدا، المسؤول عن تطوير اللقاحات في منظمة الصحة العالمية بمدينة جينيف، عن ثقة أكبر في إمكانية تجنب أحد المعوقات المحتملة الأساسية، وهي مرحلة ملء القوارير بمادة اللقاح (وهي المعروفة بمرحلة "الملء والتعبئة"). ويمكن أن تساعد شركات عديدة من تلك المصنّعة للعقاقير التي تؤخذ عن طريق الحَقن في عملية الملء. كما ذكر فريدا أن منظمة الصحة العالمية أعدت قائمة بمئات من الشركات على مستوى العالم التي تعمل حاليًّا في مجال تعبئة مادة الإنسولين والأجسام المضادة أحادية النسيلة والمضادات الحيوية التي تؤخذ عن طريق الحَقن. كما أطلقت منظمة الصحة العالمية خدمة وساطة تقوم بالربط بين هؤلاء المنتجين، وشركات اللقاحات.

أليس من الممكن أن تتعاون الشركات في الإسراع بإنتاج اللقاحات؟

يحدث ذلك بالفعل. فالشركات المتنافسة تتعاون وتعمل معًا في الوقت الحالي. وفي أحد مظاهر هذا التعاون نجد شركة "ميرك"Merck بمدينة كينيلورث في ولاية نيوجيرسي تقوم بتصنيع اللقاحات لشركة "جونسون آند جونسون" Johnson & Johnson المنافِسة بمدينة برونزويك في ولاية نيوجيرسي. وفي تعاون آخر نجد شركة "جي إس كيه" GSK - ومقرها مدينة لندن - تقوم بتصنيع 100 مليون جرعة لقاح لشركة "كيورفاك" CureVac في مدينة تيوبنجن الألمانية، بينما تقوم شركة "نوفارتس" Novartis - ومقرها مدينة بازل في سويسرا - بتصنيع 250 مليون جرعة من اللقاح للشركة نفسها.

وإضافة إلى ذلك، فقد أُبرمت عدة اتفاقيات لعمليات "الملء والتعبئة". وعلى سبيل المثال، أبرمت شركة "سانوفي" Sanofi في باريس عقدًا مع شركة "بيونتِك" BioNTech، ومقرها مدينة ماينتز الألمانية، تتولّى بمقتضاه تنفيذ المراحل الأخيرة لإنتاج 125 مليون جرعة من اللقاح الذي طورته شركة "بيونتِك" بالتعاون مع شركة "فايزر" Pfizer، ومقرها مدينة نيويورك. كما أن شركة "سانوفي" أبرمت عقدًا لتعبئة ملايين الجرعات من هذا اللقاح.

أما أكبر اتفاق متعلق بإنتاج اللقاح، فقد أبرمته شركة "أسترازينيكا" AtraZeneca - ومقرها مدينة كامبريدج في المملكة المتحدة - بشأن اللقاح الذي طورته بالتعاون مع جامعة أكسفورد في المملكة المتحدة، والذي يُمكِّن 25 شركة في 15 دولة من إنتاج 2.9 مليار جرعة من اللقاح. وقد جاء أكبر اتفاق تعاوُن أبرمته الشركة في شهر يونيو من عام 2020 مع معهد سيروم الهندي في مدينة بونه، الذي وافق المعهد بمقتضاه على إنتاج مليار جرعة من لقاح أسترازينيكا. كما وافق معهد سيروم، الذي يُعَد أكبر مُصنّع لمكونات اللقاحات في العالم - في أغسطس 2020 - على تصنيع ما لا يقل عن مليار جرعة من اللقاح الذي طورته شركة "نوفافاكس" Novavax، ومقرها مدينة جيثرسبيرج بولاية ميريلاند الأمريكية.



ANDREW KELLY/REUTERS

ويني بيانيما المديرة التنفيذية لبرنامج الأمم المتحدة لفيروس نقص المناعة البشرية، وواحدة من رعاة الحملة المطالِبة بتعليق حقوق الملكية الفكرية المرتبطة بابتكارات مواجهة مرض "كوفيد-19".

ومن ضمن الشركات المشتركة في تصنيع اللقاحات: شركة "آسبن" Aspen للصناعات الدوائية، ومقرها مدينة دُربان في جنوب أفريقيا، حيث ستتولى تحضير لقاح شركة "جونسون آند جونسون"، إلى جانب ملئه وتعبئته.

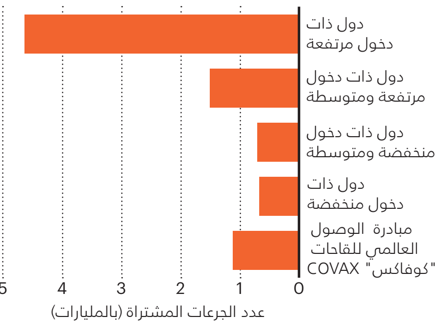
لماذا لا ينتِج العالَم مزيدًا من اللقاحات؟

هناك ثلاثة أنواع رئيسة للقاحات المضادة لمرض "كوفيد-19": لقاحات الناقل الفيروسي، ولقاحات الفيروس الكامل، ولقاحات الحمض النووي الريبي المرسال (mRNA). تُصنّع لقاحات الحمض النووي الريبي المرسال من خيوط من المواد الجينية التي تُرمِّز أحد البروتينات الموجودة على سطح الفيروس، وهو ما يحفز بدوره رد فعل مناعيًّا. وحتى بداية شهر مارس الماضي، كان قد صُنّع حوالي 179 مليون جرعة من هذا النوع من اللقاحات، وهو ما يمثل 43% من إجمالي اللقاحات المنتجة. وفي المقابل، نجد أن لقاحات الفيروس الكامل تشكل نسبة قوامها 35% من إجمالي اللقاحات بينما تمثل لقاحات الناقل الفيروسي نسبة قوامها 22%، حسب التقارير الواردة عن شركة "إيرفينيتي".

هل بإمكان شركات أخرى الإسهام في التصنيع بشكل أكبر؟ يؤكد زولتان كيس، اختصاصي الهندسة الكيميائية في المركز الرئيس لتصنيع اللقاحات المستقبلية، التابع لجامعة إمبريال كوليدج في لندن، أن تصنيع لقاحات الحمض النووي

فجوة التفاوت في الحصول على اللقاحات

حصلت الدول ذات الدخول المرتفعة، والدول ذات الدخول المرتفعة والمتوسطة على أكثر من 6 مليارات جرعة لقاح من إجمالي 8.6 مليار جرعة*



*البيانات من التاسع عشر من مارس عام 2021 من مبادرة الوصول العالمي للقاحات "كوفيد-19" (COVAX)

الريبي المرسال أمر سهل، لكنّ التوسع في إنتاجها محفوف بالصعاب، إذ يوجد نقص في العمالة المدربة على إنتاجها، لأنها تعتمد على آلية جديدة. ويؤكد كيس هذا قائلًا: "يصعب للغاية العثور على أفراد مدربين يجيدون هذه الآلية".

ويتمثل أحد المعوقات الرئيسة التي تواجه تصنيع لقاحات الحمض النووي الريبي في النقص العالمي لمكوناته الرئيسة، وعلى وجه الخصوص النيوكليوتيدات، والإنزيمات، والليبيدات، لأن عددًا قليلًا نسبيًّا من الشركات يتولى عملية تصنيع تلك المكونات، كما أن حجم الإنتاج لا يفي بالاحتياجات العالمية، إلى جانب أن الإجراءات التي تسعى من خلالها هذه الشركات لترخيص منتجاتها بطيئة بشكل يجعل الشركات الأخرى غير قادرة على المشارَكة في الإنتاج.

وعلى سبيل المثال، تتطلب كل سلسلة من الحمض النووي الريبي نوعًا من "الغطاء" الذي يَحُول دون رفض جسم الإنسان لهذه السلسلة بوصفها جسمًا غريبًا. ويقول كيس إن هذا الغطاء أعلى المكونات تكلفة، وإن هناك شركة واحدة تملك حقوق الملكية الفكرية لتصميم أحد "الأغطية" شائعة الاستخدام، وهي شركة "تراي لينك بيوتكنولوجيز" TriLink Biotechnologies، ومقرها مدينة سان دييجو بولاية كاليفورنيا الأمريكية. وعلى نحو مماثل، يمتلك عدد صغير من الشركات حقوق الملكية الفكرية لواحد من الجسيمات النانوية الدهنية الأربعة التي تشكل "القفص" المحيط بالحمض النووي الريبي، حسب قول كيس.

ومع كل ذلك، فإن مُصنّعي المكونات يوسعون في الوقت الحالي نطاق إنتاجيتهم، فعلى سبيل المثال، نجد شركة "ترايلينك" تقيم مَرافِق جديدة لذلك في ولاية كاليفورنيا، كما أن شركة "ميرك" في مدينة دارمشتادت الألمانية تتوسع في توفير الليبيدات للشركات المتعاونة مع شركة "بيونتِك"، التي تتعاون بدورها مع شركة "فايزر".

ويقول درو فايسمان، عالِم الأحياء المتخصص في الحمض النووي الريبي، من جامعة بنسلفانيا بولاية فيلادلفيا، إن الفترة المبكرة من انتشار الجائحة شهدت تسارعًا في حجم الاستثمارات المرتبطة بأبحاث اللقاحات وتطويرها، في حين لم يلق التوسع في إنتاج مكونات اللقاح القدر نفسه من الاهتمام. وقد مهدت الأبحاث التي أجراها فايسمان الطريق أمام عمليات تصنيع اللقاحات المعتمِدة على الحمض النووي الريبي، التي طورتها شركتا "فايزر"، و"بيونتِك"، وكذلك شركة "موديرنا" في مدينة

كامبريدج بولاية ماساتشوستس (N. Pardi *et al*. *Nature Commun*. 8, 14630; 2017). ويضيف فايسمان قائلًا: "كانت شركتا "فايزر" و"موديرنا" بالفعل تفكران في شهر فبراير من عام 2020 في وسيلة لإنتاج المزيد من اللقاحات. وقد بدأتا بشراء شركات تتبنى ما يُعرف بـ"الممارَسات التصنيعية الجيدة"، و(تُعرف اختصارًا بـGMP)، وذلك في إشارة إلى الشركات التي تتبنى معايير صارمة في تصنيع الأطعمة، والعقاقير، والمعدات الطبية الآمنة.

ويضيف فايسمان قائلًا: "إلى جانب ذلك، بدأت شركتا "فايز" و"موديرنا" في استئجار شركات أخرى، لكنْ لم تكن لديهما السيطرة على المواد الخام. وربما كان بوسع الحكومات استخدام سُلْطاتها في جعل شركات المنتجات الكيميائية تنتج كميات أكبر من المواد الخام اللازمة لتصنيع اللقاحات، لكنّ هذا كان سيمثل مطلبًا صعبًا في وقت لم يكن العقار قد حصل فيه على الموافقات بعد".

إلى أي مدى تتسبب اعتبارات حماية حقوق الملكية الفكرية في إبطاء الحصول على لقاحات "كوفيد-19"؟

يتطلب تطعيم 70% من سكان العالم حوالي 11 مليار جرعة، وذلك لو افترضنا أن كل شخص سيحصل على جرعتين. وربما تكون هذه هي النسبة المطلوبة لتحقيق المناعة السكانية، أو ما يُطلَق عليه "مناعة القطيع".

وحسب ما أعلنه الباحثون في مركز الابتكار الصحي العالمي بجامعة ديوك، فقد قامت الدول ذات الدخول المرتفعة والمتوسطة، التي تمثل خُمس تعداد سكان العالم، بشراء حوالي 6 مليارات جرعة، في حين لم تستطع الدول ذات الدخول المنخفضة والمتوسطة، التي تمثل أربعة أخماس تعداد سكان العالم من الحصول سوى على ما يوازي 2.6 مليار جرعة. تتضمن هذه الأرقام 1,1 مليار جرعة ضمن خطة "كوفاكس" COVAX، التي التزمت بمقتضاها جهات تمويل اللقاحات العالمية بتطعيم خُمس سكان العالم. ويقول الباحثون إنه وفقًا لهذا الإجراء فقد يحتاج سكان الدول ذات الدخول الأشد انخفاضًا إلى عامين أو أكثر لتَلَقِّي التطعيمات.

ولهذا السبب، تشارك الهند وجنوب أفريقيا في حملة لإسقاط حقوق الملكية الفكرية المتعلقة بلقاحات مرض "كوفيد-19". ويرى مؤيدو هذه الحملة أن هذا الإجراء سيتيح حدوث طفرة في إنتاج هذه اللقاحات.

وفي أكتوبر الماضي، طالبت الدولتان منظمة التجارة العالمية (WTO) بتعليق حقوق الملكية الفكرية لبعض المعدّات الطبية والتكنولوجيا المرتبطة بمرض "كوفيد-19" لحين تحقيق مناعة القطيع. ويوجد دعم متزايد لهذا المقترح، جعل حوالي 100 دولة تسانده، بالإضافة إلى تحالف يسمى "التحالف الشعبي للحصول على اللقاحات" People's Vaccine Alliance، يضم عدة مؤسسات، من بينها "برنامج الأمم المتحدة لفيروس نقص المناعة" UNAIDS. وعند إطلاق الحملة، صرحت ويني بيانيما، المديرة التنفيذية للبرنامج قائلة: "ليس بوسعنا تكرار الأخطاء الجسيمة التي حدثت خلال السنوات الأولى لتَعامُلنا مع مرض نقص المناعة البشرية، حين تعافى مواطنو الدول الأكثر ثراءً، بينما لم يصل العلاج إلى ملايين المواطنين في الدول النامية".

وقد نوقِش المقترح خلال اجتماع لمنظمة التجارة العالمية في يومي العاشر والحادي عشر من مارس الماضي، ومن المفترض أن يكو ن قد استؤنف النقاش حوله في شهر أبريل الماضي، إذ يرى المؤيدون أن إسقاط حقوق الملكية الفكرية سوف يُمكّن الحكومات والمصنعين من العمل معًا على زيادة إنتاج اللقاحات، ويقولون إنه لو لم تُسقَط هذه الحقوق، فستبقى الدول الأكثر فقرًا معتمِدة على الهبات التي تقدِّمها الدول الأكثر ثراءً وشركاتها الدوائية.

يقول جون نكينجاسونج، اختصاصي الفيروسات، ومدير المراكز الأفريقية لمكافحة الأمراض والوقاية منها - ومقرها أديس أبابا - إن الحملة لإسقاط حقوق الملكية الفكرية تتبع أيضًا من خبراتنا السابقة بوباء الإيدز. كما صرح نكينجاسونج إنه خلال العقد الأخير من القرن العشرين كانت العقاقير التي تعالج فيروس نقص المناعة البشرية (HIV) متوفرة في الدول ذات الدخول المرتفعة، على الرغم من أن معظم حالات الإصابة والوفاة بفيروس نقص المناعة البشرية كانت في أفريقيا، مضيفًا أنّ وصول العقاقير إلى أفريقيا استغرق سنوات عديدة.

> **"إن حدوث نقص في أيّ من هذه العناصر من شأنه أن يعرقل عملية التصنيع بأكملها".**

ولكنّ المقترَح المقدَّم من الهند وجنوب أفريقيا يلقى معارضة من الاتحاد الأوروبي، والولايات المتحدة، والمملكة المتحدة، ومعظم شركات الأدوية الكبيرة، إذ ترى هذه الجهات أن إسقاط حقوق الملكية الفكرية في حال "كوفيد-19" غير ضروري، بل وغير مفيد. ويقول جيرمي كيم مدير عام معهد اللقاحات الدولي في مدينة سول: "يختلف اللقاح عن الأدوية في أنه في حال اللقاح ليس بوسعك مجرد "اتباع الإرشادات" لكي يصبح لديك لقاح، فعملية تصنيع اللقاح عملية بيولوجية معقدة تتضمن خطوات متعددة لضمان الجودة". أما فيما يتعلق بتكنولوجيا الحمض النووي الريبي لإنتاج اللقاحات، فالإجراءات "ليست مُحْكَمة بما يكفي للاعتماد عليها حتى الآن"، كما يقول كيم.

وجدير بالذكر أيضًا أنّ حقوق الملكية الفكرية، على الأقل بالنسبة إلى لقاحات الحمض النووي الريبي المرسال، موزعة على نطاق عدة شركات. وقد تستغرق المفاوضات حول حقوق الملكية الفكرية مع كل واحدة من تلك الشركات ما يقرب من العام، وفق ما صرّح به كيم، الذي أضاف قائلًا: "هل سيتيح لنا هذا الحصول على اللقاح على نحو أسرع حقًّا؟ أم أنه سيكون بمثابة أن تطلب من شركةٍ ما التنازل عن شيء لن يكون له تأثير على الوضع الصحي العالمي في نهاية المطاف؟"

وكبديل لذلك، يقترح كيم أن ترخِّص الشركات حقوق الملكية الفكرية التي لديها لأطراف ثالثة، مشيرًا إلى أن هذا النوع من "انتقال التكنولوجيا" سوف يسرع عملية التصنيع، لأن عدد الشركات التي ستتولى التصنيع سيزيد، وهو ما يحدث الآن بالفعل. ويقول كيم: "في رأيي أن انتقال التكنولوجيا أحد الملامح المميزة لهذه الجائحة"، وهو الرأي الذي يتفق معه فريدا، الذي أوضح هذا بقوله: "شهدنا قيام مشارَكات بين كيانات لو كنت سألتني قبل ستة أشهر عما إذا كنت أعتقد أنها ستنجح في العمل معًا، لجاءك ردي: "بالتأكيد لا، فهي جهات بينها تنافس شرس".

ما أشكال انتقال التكنولوجيا الأخرى التي يمكن أن تسرع إنتاج اللقاحات؟

تدعم منظمة الصحة العالمية ما تطْلِق عليه "تنسيق انتقال التكنولوجيا"، الذي تقوم بمقتضاه الجامعات وجِهَات التصنيع بترخيص إنتاج لقاحاتها لشركات أخرى من خلال آلية عالمية تتولي منظمة الصحة العالمية تنسيقها، وهي تتولى كذلك تدريب أطقم العمل في الشركات المتلقية للتراخيص، كما تقوم بتنسيق الاستثمارات في البِنْية التحتية لعمليات الإنتاج هذه. وتقول المنظمة إن هذا المنهج أكثر إحكامًا وشفافية من صفقات المرة الواحدة لانتقال التكنولوجيا، مثل التي أُبرِمت بين شركة "أسترازينيكا"، ومعهد سيروم.

هناك نهج آخَر تبنّته جامعة بنسلفانيا التي تمتلك من حقوق الملكية الفكرية المتعلقة بالحمض النووي الريبي ما يكفي لأنْ تحتل الساحة بمفردها، وهو تقديم الدعم لجامعة تشولالونج كورن في مدينة بانكوك لتجهيز مرفق لصناعة اللقاح.

يقول فايسمان، الذي يشارك في المشروع: "لو نظرنا إلى توزيع اللقاح في الوقت الحالي، فسنجد أنّ تايلاند ودولًا أخرى ذات دخول منخفضة عليها أن تنتظر حوالي عامين، حتى يتسنى لها الحصول على اللقاح"، كما أوضح فايسمان قائلًا إنّ حكومة تايلاند لم تكن ترغب في الانتظار، مضيفًا: "كانت الحكومة على استعداد لتقديم الأموال التي تُمَكّنها من علاج الشعب مع حلول نهاية العام".

ويقول فريدا إنه على المدى الطويل سوف تحتاج كل منطقة إلى مرفق لديه خبرة التصنيع ويمكنه إنتاج اللقاحات. كما يرى نكينجاسونج أن التفاوت يَظهَر بوضوح في أفريقيا، حيث تستورد القارة 99% من اللقاحات التي تحتاجها. كما أنه لا يوجد في أفريقيا سوى ثلاث جهات تصنيع كبرى للقاحات. ويضيف نكينجاسونج متسائلًا: "هل يمكن لقارة يبلغ تعداد سكانها 1.2 مليار نسمة، ومن المتوقع أن يصل إلى 2.4 مليار نسمة خلال الثلاثين سنة القادمة، بحيث يصبح تعدادها ربع تعداد سكان العالم، أن تستمر في استيراد 99% من اللقاحات التي تحتاجها؟"



BRUNO KELLY/REUTERS

مقدمو الخدمة الصحية بولاية أمازوناس البرازيلية يستخدمون القوارب لتوصيل لقاح "كوفيد-19".



CHRISTOF STACHE/AFP/GETTY

يمكن للبلدان التي تعاني من تذبذب كميات الإمدادات الواردة إليها من لقاحات "كوفيد-19" أن تستفيد من تغيير نوع اللقاح المستخدم في الجرعة الثانية، بحيث يختلف عنه في الجرعة الأولى.

مزيج من لقاحات «كوفيد-19» يُوَلِّد استجابة مناعية قوية

النتائج الأولية لتجربة خضع لها أكثر من 600 شخص هي أول ما يُبَشِّر بفوائد الجمع بين لقاحات مختلفة في التطعيمات.

إوين كالاوي

تَوَصَّل باحثون، طبقًا لدراسة أجروها في إسبانيا، إلى أن الجمع في التطعيمات بين اللقاح الذي أُنتِج بالتعاوُن بين جامعة أكسفورد، وشركة أسترازينيكا"، وذلك الذي أُنتِج بالتعاوُن بين شركتَي "فايزر"، و"بيونتك"، تَنْتُج عنه استجابة مناعية قوية ضد فيروس "سارس-كوف-2".

وتُعَد النتائج الأولية لهذه التجربة التي خضع لها أكثر من 600 شخص – وجرى الإعلان عمّا خلصت إليه خلال عرض تقديمي طرحه الباحثون فيها حول دراستهم عبر الانترنت في الثامن عشر من مايو الماضي – أول ما يُبَشِّر بفوائد الجمع بين لقاحات مختلفة في التطعيم ضد "كوفيد-19". وكان القائمون على تجربة بريطانية تختبر استراتيجية تطعيم مماثلة[1] قد أفادوا خلال الأسبوع الماضي ببيانات أمان اللقاحات المتعلقة بتجربتهم. ومن المرتقب أن تأتي تجربتهم قريبًا بالمزيد من النتائج حول الاستجابات المناعية المتولدة من الجمع بين لقاحات مختلفة.

وجدير بالذكر أنه نظرًا إلى وجود مخاوف تتعلق بأمان اللقاحات، فإن دولًا أوروبية عديدة بدأت بالفعل في التوصية بتغيير نوع اللقاح الممنوح في الجرعة الثانية للأشخاص الذين تلقوا جرعتهم الأولى من لقاح "أكسفورد-أسترازينيكا"، أو تغيير نوعه لبعض هؤلاء الأشخاص فحسب. ويأمل الباحثون أن تؤدي هذه النظم القائمة على الجمع بين لقاحات "كوفيد-19" مختلفة إلى تحفيز استجابات مناعية أقوى، وأكثر فعالية، مقارنة بالنظام القائم على تَلَقِّي جرعتين من لقاح واحد، فضلًا عن تيسير جهود التطعيم في البلدان التي تعاني من تذبذب كميات الإمدادات التي تحصل عليها من اللقاحات المختلفة.

وفي ذلك الصدد، يقول جو شينج، اختصاصي المناعة من جامعة ماكماستر في هاميلتون بكندا: "يبدو أن لقاح "فايزر" عزز إنتاج الأجسام المضادة على نحو ملحوظ لدى مَن تلقّوا جرعة واحدة من لقاح "أسترازينيكا" ، وهذا نبأ رائع بكل ما تحمله الكلمة من معنى".

تحفيز، ثم تعزيز

ألحقت تجربة "كومبيفاكس" CombivacS الإسبانية التي انطلقت في إبريل الماضي 663 مشاركًا بها، كانوا قد تلقوا بالفعل الجرعة الأولى من لقاح "أكسفورد-أسترازينيكا"، الذي يستخدم نسخة آمنة من فيروس غُدّي يصيب قردة الشمبانزي، لتخدم كناقل يعطي الخلايا البشرية تعليمات بصنع بروتين بفيروس "سارس-كوف-2". ووقع الاختيار بشكل عشوائي على ثلثي المشاركين لتلقي اللقاح المعتمِد على الحمض النووي الريبي المرسال الذي تصنعه شركه "فايزر" وشركة "بيونتك"، كجرعة ثانية بعد مرور ثمانية أسابيع على الأقل من تلقيهم الجرعة الأولى. وفي المقابل، لم تتلقَ مجموعة المقارنة المكونة من 232 شخصًا جرعة مُعَزِّزَة حتى الآن. وقد أُجريت الدراسة تحت قيادة معهد كارلوس الثالث الصحي في مدريد.

وقد قالت ماجدالينا كامبينس، وهي واحدة من الباحثين القائمين على دراسة "كومبيفاكس" في مستشفى فال ديبرون الجامعي في برشلونة بإسبانيا، إنها تعتقد أن الجرعة المُعَزِّزَة من لقاح "فايزر-بيونتك" أيقظت جهاز المناعة لدى المشاركين الذين تلقوا جرعة أولى من لقاح "أكسفورد-أسترازينيكا"؛ إذ بدأ هؤلاء المشاركون بعد تلقيهم لتلك الجرعة الثانية في إنتاج الأجسام المضادة بمستويات أعلى بكثير من أي وقت مضى، كما تمكنت هذه الأجسام المضادة من التعرف على فيروس "سارس-كوف-2" وإبطال نشاطه خلال الاختبارات المعملية. وفي المقابل، لم يظهَر أي تغيير في مستويات الأجسام المضادة لدى المشاركين في مجموعة المقارنة، الذين لم يتلقوا جرعة مُعَزِّزة.

وجاءت تلك النتائج مطابِقة لآمال الباحثين وتوقعاتهم حول استراتيجية الجمع بين لقاحات مختلفة، وهي استراتيجية تُعرَف باسم "التعزيز غير المتجانس"، وجرى توظيفها في التطعيم ضد أمراض أخرى، مثل مرض الإيبولا. وحول ذلك، يقول دان باروش، مدير مركز أبحاث الفيروسات واللقاحات في مركز بيث إسرائيل ديكونيس الطبي في بوسطن بولاية ماساتشوستس الأمريكية: "تبدو هذه الاستجابات واعدة، كما أنها تكشف عن إمكانات نظم التعزيز غير المتجانس".

ويقول شينج إن استجابة الأجسام المضادة الناتجة من تَلَقِّي الجرعة المُعَزِّزة من لقاح "فايزر" تبدو أقوى من تلك الناتجة لدى معظم الأشخاص بعد تلقي جرعتين من لقاح "أكسفورد-أسترازينيكا" ، وذلك وفقًا لبيانات من تجارب سابقة، بيد أنه ليس واضحًا كيف ستبدو هذه الاستجابات، مقارنة بتلك التي تظهر في الأشخاص الذين يتلقون جرعتين من اللقاحات المعتمِدة على الحمض النووي الريبي المرسال ، مثل لقاح "فايزر-بيونتك" ، والتي غالبًا ما تحفز استجابة قوية للغاية من الأجسام المضادة كرد فعل لتلقي الجرعة الثانية.

ويقول دانيال ألتمان، اختصاصي علم المناعة من كلية إمبريال كوليدج في لندن، إن الخوض في مثل هذه المقارنات هو "أشبه بمقارنة التفاح مع البرتقال"، مضيفًا أن الاستجابة المناعية القوية الناتجة عن استراتيجية الجمع بين لقاحات مختلفة "مُتوقعة تمامًا حسب أساسيات علم المناعة".

كما يقول ألتمان إن إعطاء الأفراد الجرعتين الأولى والثانية من لقاحين مختلفين قد يبدو منطقيًّا، لكنه يتساءل عما سيحدث إذا احتاج الأفراد إلى جرعة ثالثة لإطالة أمد المناعة المكتسبة من اللقاحين، أو للوقاية من سلالات فيروس كورونا الجديدة. وجرعات اللقاحات المعْتمِدة على فيروسات كاملة، مثل لقاح "أكسفورد-أسترازينيكا"، تكون عادةً أقل فعالية مع تكرار التطعيم بها، وذلك لأن الجهاز المناعي يشن هجومًا ضد الفيروس الغُدّي. وعلى النقيض من ذلك، تميل اللقاحات القائمة على الحمض النووي الريبي إلى تحفيز آثار جانبية أقوى كلما تلقى الشخص جرعات إضافية. ويقول ألتمان: "أعتقد أن ثمة آفاقًا يتعين استكشافها لعلم اللقاحات، تنم عن واقع جديد، يستلزم الجرأة".

وقد توصلت دراسة في المملكة المتحدة، يشار إليها اختصارًا باسم "كوم-كوف" Com-COV، وتقوم على تحليل فعالية طرق مختلفة للجمع في التطعيمات بين اللقاحين المذكورين في الفقرة السابقة، إلى أن مجموعات المشاركين بها ممن خضعوا لنظام تطعيم من جرعة من كل من اللقاحين عانوا الآثار الجانبية الشائعة للتطعيم، مثل الحمى، بمعدلات أعلى من الأشخاص الذين تلقوا جرعتين من اللقاح نفسه[1]. أما في تجربة "كومبيفاكس" الإسبانية، فقد كانت الآثار الجانبية الخفيفة شائعة، ومماثِلة لتلك التي تصاحِب اتباع النظم التقليدية في التطعيم ضد "كوفيد19-". ولم يُصَنِّف القائمون على الدراسة أيًّا من الآثار الجانبية على أنها حادة.

1. Shaw, R. H. *et al.* Lancet https://doi.org/10.1016/S0140-6736(21)01115-6 (2021).

الأجنة الأولى لقردة بشرية تثير جدلًا حول الحيوانات الهجينة

عاشت الأجنة لمدة 19 يومًا، ويشكك بعض العلماء فيما إذا كانت هناك حاجة إلى إجراء هذا النوع من الأبحاث، أم لا.

نيدي سوبارامان

نجح العلماء لأول مرة في إنماء أجنة قردة تحتوي على خلايا بشرية، وهو الإنجاز الأحدث في مجال يشهد تقدمًا سريعًا، ويثير على إثر ذلك تساؤلات أخلاقية.

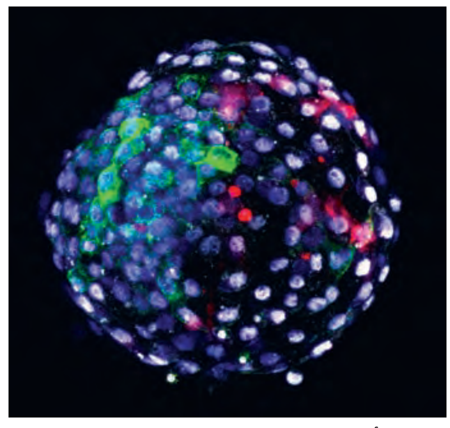
ووفقًا لما ورد في البحث المنشور في دورية "سِل" *Cell* في 15 إبريل الماضي، حَقَن الفريق البحثي أجنة القردة بخلايا جذعية بشرية، ثم راقبوا تطورها. لاحظ أعضاء الفريق أن الخلايا البشرية وخلايا القردة تنقسم وتنمو معًا في الطبق المخبري، وعاشت ثلاثة أجنة على الأقل لمدة بلغت 19 يومًا بعد الإخصاب. قال خوان كارلوس إيزبيسوا بيلمونتي، وهو باحث في علم الأحياء النمائي في معهد سولك للدراسات البيولوجية في مدينة لاهويا بولاية كاليفورنيا، ورئيس الفريق البحثي: "خلاصة التجربة هي أن كل جنين كانت به خلايا بشرية تتكاثر وتتمايز بدرجات متفاوتة".

يأمل الباحثون أن توفر هذه الكائنات البشرية الحيوانية الهجينة - ويُطلَق عليها اسم "الخيمر" - نماذج أفضل يمكن الاستفادة منها في اختبارات الأدوية وإنماء أعضاء بشرية من أجل عمليات زرع الأعضاء. كان أعضاء الفريق البحثي ذاته قد حققوا سبْقًا في عام 2019 عندما برهنوا على إمكانية إنماء أجنة القردة في طبق مخبري لمدة تصل إلى 20 يومًا بعد الإخصاب[2]. وكانوا قد كشفوا قبل ذلك في عام 2017 عن سلسلة من أنواع هجينة أخرى: أجنة خنازير نمت بخلايا بشرية، وأجنة بقر نمت بخلايا بشرية، وأجنة جرذان نمت بخلايا فئران[3].

قضية شائكة

أثار آخِر أبحاث الفريق جدلًا واسعًا بين صفوف الباحثين في علم الأحياء النمائي. ويتساءل بعض العلماء عما إذا كانت هناك حاجة إلى إجراء مثل هذه التجارب التي تستخدم رئيسيات وثيقة الصلة؛ إذ إنه من غير المرجح أن تُستخدم هذه الحيوانات كنماذج حيوانية على غرار الفئران والقوارض. إنّ قواعد أخلاق البحث العلمي التي تحمي الرئيسيات غير البشرية أكثر صرامة من تلك التي تحمي القوارض، ويخشى علماء الأحياء من أنْ يؤجج عمل بحثي من هذا النوع مشاعر المعارَضة لدى الرأي العام.

يقول ألفونسو مارتينيز أرياس، الباحث في علم الأحياء النمائي في جامعة بومبيو فابرا في برشلونة بإسبانيا: "أجريت من قبل تجارب أكثر عقلانية في مجال استخدام الكائنات الهجينة كمصدر للأعضاء والأنسجة". ويتابع أرياس بقوله إن التجارب التي تستخدم الماشية، مثل الخنازير والأبقار، "واعدة أكثر، ولا تخاطِر بتخطي الحدود الأخلاقية". ويضيف قائلًا: "هناك مجال بأكمله يختص بدراسة الأنسجة شبه العضية، ومن المأمول أن يستمر العمل فيه، دون الحاجة إلى إجراء الأبحاث على الحيوانات."



الحوصلة الأريمية للقرد البشري.

WEIZHI JI, KUNMING UNIV. SCIENCE AND TECHNOLOGY

يقول إيزبيسوا بيلمونتي إنّ فريقه لا ينوي زرع أي أجنة هجينة داخل القردة؛ حيث إن الهدف من عملهم هو فهْم كيفية تواصُل خلايا تنتمي إلى أنواع مختلفة مع بعضها البعض خلال المراحل المبكرة من نمو الجنين.

مـا تـزال المحـاولات التي جـرت لإنماء أنـواع هجينة من البشـر والفئران محـاولات أولية، ويجـب أن تكون الكائنات الهجينـة الناتجـة أكثـر فعاليـة، ووضعها الصحي أفضل، قبل أن تتسنى لنا الاستفادة منها. ويعتقد العلماء أن مثل هـذه الأنـواع الهجينـة قـد تواجه مشـاكل في النمو بشـكل سـليم، لأن النوعين بعيدان عن بعضهما البعض تطوريًّا، وبالتالي فإن الخلايا تتواصل فيما بينها باسـتخدام وسـائل مختلفة. يقول إيزبيسـوا بيلمونتي إنّ مراقبة تواصُل الخلايا في كائنات القردة البشـرية الهجينة، التي تتضمن خلايا من نوعيـن بينهمـا صلة أكبر، يمكن أن تقود إلى اكتشـاف طرق تجعل نماذج الفئران البشـرية أكثر قابلية للاسـتخدام في التجارب مستقبلًا.

"قد يرى البعض أنك بصدد خلق كيانات غير واضحة المعالم من الناحية الأخلاقية"

في الدراسة موضع النقاش، خَصَّب الباحثون بويضات قردة المكاك طويل الذيل (*Macaca fascicularis*) في مزرعة. وبعد ستة أيام من الإخصاب، حَقَن الفريق 132 جنينًا بخلايا جذعية بشرية متعددة القدرات، وهي خلايا يمكنها أن تنمو وتتمايز لتتحول إلى أنواع مختلفة من الخلايا داخل الجنين وخارجه. أنتج كل جنين في هذه الدراسة مزيجًا فريدًا من الخلايا البشرية وخلايا القردة، وكانت صحة الأجنة تتدهور بمعدلات متفاوتة؛ حيث بقي 91 منها على قيد الحياة بعد 11 يومًا من الإخصاب، ثم انخفض هذا العدد إلى 12 جنينًا في اليوم السابع عشر، وثلاثة أجنة في اليوم التاسع عشر.

تقول ماجدالينا زرنيكا جويتز، الباحثة في علم الأحياء النمائي في معهد كاليفورنيا للتكنولوجيا في باسادينا: "تُعَد هذه الورقة البحثية برهانًا مثيرًا على قدرة الخلايا الجذعية البشرية متعددة القدرات على الاندماج في أجنة قردة المكاك طويل الذيل عند حَقْنها في الحوصلة الأريمية للقردة". وأشارت إلى أن هذا الفريق، مثله في ذلك مثل آخرين سبقوه، لم يتمكن من التحكم في تحديد أي نوع من الخلايا يتحول إلى نوع محدد من الأنسجة، وهي خطوة أساسية، لا بد من إتقانها قبل استخدام مثل هذه النماذج.

ومن جانبه لم يقتنع مارتينيز أرياس بنتائج البحث، وعقّب قائلًا: "إنني بحاجة إلى أدلة أقوى"، لا سيما فيما يتعلق بالمراحل اللاحقة من النمو. تراجعت أعداد الأجنة بسرعة مع اقتراب اليوم الخامس عشر من النمو، الأمر الذي يوحي لأرياس بأن "هذه الأشياء غير صالحة للحياة تمامًا".

يثير الجمْع بين الخلايا البشرية وأجنة الرئيسيات وثيقة الصلة أسئلة حول مكانة الكائنات الهجينة الناتجة عن ذلك، وهويتها. يقول إنسو هيون، أخصائي أخلاقيات علم الأحياء في جامعة كيس ويسترن ريزيرف في مدينة كليفلاند بولاية أوهايو: "قد يرى البعض أنك بصدد خلق كيانات غير واضحة المعالم من الناحية الأخلاقية". ويضيف قائلًا إن الفريق اتبع الإرشادات الأخلاقية بدقة، ويقول: "أعتقد أنه توخى قدرًا من العناية الواجبة لمراعاة الإرشادات والجوانب الأخلاقية."

قيود على البحث

بالتزامن مع ذلك، بدأ واضعو الإرشادات الدولية في مجاراة التطورات التي يشهدها هذا المجال، فقد نشرت الجمعية الدولية لأبحاث الخلايا الجذعية (ISSCR) إرشادات منقحة فيما يخص أبحاث الخلايا الجذعية. يقول هيون، الذي يترأس لجنةً كلّفتها الجمعية بمناقشة مسألة الكائنات الهجينة، إن هذه الإرشادات تتناول الكائنات الهجينة التي تجمع خلايا رئيسيات غير بشرية وخلايا بشرية. وتحظر إرشادات الجمعية على الباحثين حاليًّا السماح للكائنات البشرية الحيوانية الهجينة بالتزاوج، كما توصي الجمعية بتشديد الرقابة عندما تبدي الخلايا البشرية استعدادًا للاندماج في الجهاز العصبي المركزي النامي لدى مضيف حيواني.

كانت بلدان عديدة، من بينها الولايات المتحدة الأمريكية، والمملكة المتحدة، واليابان، قد فرضت قيودًا في وقت ما، من شأنها الحد من الأبحاث التي تتضمن الكائنات البشرية الحيوانية الهجينة. وقد رفعت اليابان الحظر المفروض على إجراء هذه التجارب في عام 2019.

وفي عام 2015، أعلنت معاهد الصحة الوطنية الأمريكية (NIH) عن وقف التمويل الفيدرالي للدراسات التي يجري فيها حَقْن أجنة الحيوانات بخلايا بشرية. وفي عام 2016، اقترحت الوكالة المُموِّلة رفع ذلك الحظر، وقَصْر الأبحاث على دراسة الكائنات الهجينة المُخَلَّقة بعد فترة تكوُّن المُعَيدَة، التي يبدأ فيها الجهاز العصبي الأوّلِي في التكوُّن. وبعد أكثر من أربع سنوات، لا يزال حظر التمويل قائمًا. كان متحدث باسم المعاهد الوطنية للصحة قال إن الوكالة تنتظر تحديث الجمعية الدولية لأبحاث الخلايا الجذعية "كي نضمن أن يعكس موقفنا ما سيرد إلينا من معلومات من المجتمع العلمي".

1. Tan, T. *et al. Cell* **184**, 2020–2032 (2021).
2. Niu, Y. *et al. Science* **366**, eaaw5754 (2019).
3. Wu, J. *et al. Cell* **168**, 473–486 (2017).



CARL HOSTETTER/NASA EPIC TEAM

كوكب الأرض كما يظهر في صورة التقطها القمر الصناعي المعروف باسم "مرصد مناخ الفضاء العميق" (اختصارًا DSCOVR)

«ناسا» تُحْيِي دورها في مكافحة تغيُّر المناخ

تهدف وكالة الفضاء إلى إحياء برنامج علوم الأرض التابع لها.

ألكسندرا ويتزي

تشتهر وكالة "ناسا" باستكشاف العوالم الأخرى، سواء أكان ذلك بإرسال رواد فضاء إلى القمر، أم مروحيات للتَّحليق على سطح المريخ. وتعتزم وكالة الفضاء، في عهد الرئيس الأمريكي الحالي جو بايدن، تعزيز سمعتها كأحد الأطراف الرئيسة في دراسات الأرض، واضعةً مكافحة تغيُّر المناخ في مقدمة اهتماماتها.

وحول ذلك، يقول وليد عبد العاطي، مدير المعهد التعاوني لبحوث العلوم البيئية في مدينة بولدر بولاية كولورادو الأمريكية: "لقد أوضح بايدن أن المناخ على قائمة أولوياته، ولا شك أن لوكالة «ناسا» دورًا تلعبه في هذا الصدد"، بالنظر إلى كل أبحاث علوم الأرض التي تمولها، والأقمار الصناعية التي تطْلِقها لرصد الأرض.

وخلال الأشهر الأخيرة، أشارت الوكالة إلى اعتزامها إحياء دورها في إرشاد سياسات الولايات المتحدة المتعلقة بالمناخ، وذلك من خلال تعيين أول استشاري للمناخ، وتكثيف العمل في البعثات الرئيسة لدراسة الكيفية التي تطرأ بها التغيرات على مناخ الأرض.

ويقول مسؤولو الوكالة إن هذه الجهود بالغة الأهمية في ظل تسارع وتيرة تغيُّر المناخ. وتقول كارين سان جيرمان، رئيسة قسم علوم الأرض في وكالة "ناسا" في واشنطن العاصمة: "سيزداد الطلب على المعلومات التي تسمح بالتحرك للتصدي للموقف ازديادًا كبيرًا جدًّا خلال العقد القادم، أو العقدين المقبلين".

ومن بين العديد من الوكالات الفيدرالية الأمريكية التي كَلّفها بايدن بالحدّ من تغيُّر المناخ، يبرز دور وكالة "ناسا" بوصفها وكالة رائدة في جهود استكشاف الكوكب الضرورية، إذ يمتد تاريخ الوكالة في رصد كوكب الأرض إلى عام 1960، حينما أطلقت القمر الصناعي "تيروس-1" TIROS-1، لاختبار إمكانية مراقبة الطقس من الفضاء. وعلى مدى أكثر من ستة عقود، صممت الوكالة، وشيَّدت، وأطلقت مركبات فضائية لرصد تغيُّر كوكب الأرض. وهي تُدير أقمارًا صناعية تقيس ذوبان الصفائح الجليدية وتدفُّق ثاني أكسيد الكربون عبر الغلاف الجوي بالتَّنسيق - في أغلب الأحيان - مع الإدارة الوطنية الأمريكية للمحيطات والغلاف الجوي (NOAA)، وهي الجهة التي تتحمل المسؤولية الأساسية عن التنبؤ بالطقس المحلي. كما

تتولى الوكالة تسيير طائرات لجمْع بيانات حول التغيرات التي تطرأ على كوكب الأرض، وتموِّل مجموعة واسعة من أبحاث المناخ الأساسية، مثل دراسات النمذجة المناخية. ومن هنا، تصف سان جيرمان دور الوكالة قائلةً: "دورنا الرئيس هو فهم كيفية تغيُّر منظومة كوكب الأرض".

وقد حاول الرئيس الأمريكي السابق لبايدن، دونالد ترامب، الذي أعطت سياساته الأفضلية للاهتمام بالصناعة، واستهانت بتغيُّر المناخ، مرارًا وتكرارًا إلغاء بعثات كبرى تابعة لوكالة "ناسا" لخدمة علوم الأرض، إلا أن الكونجرس أنقذها. وقد كان ذلك جزءًا من نمط أوسع انتشر في إدارة ترامب، سعى إلى تقويض الأبحاث والسياسات المتعلقة بتغيُّر المناخ. وأفلَتت وكالة "ناسا" من أسوأ الضربات التي سددتها تلك الهجمات من خلال إخفاء معظم أبحاثها المتعلقة بتغيُّر المناخ وعلوم الأرض عن المسؤولين التابعين للرئيس ترامب، لكنّ تلك الفترة كانت مشحونة بالتوترات السياسية للوكالة.

والآن، تستعيد وكالة "ناسا" مكانتها بالمعنى الحَرفيّ للكلمة. ففي بادئ الأمر، أحجم بايدن عن إشراك الوكالة في فريق العمل رفيع المستوى المعنِيّ بالمناخ، الذي شكّلَه بعد أسبوع من تقلده منصبه في يناير الماضي. وبعد بعض المكالمات الهاتفية اللاذعة، شقَّت وكالة "ناسا" طريقها إلى فريق العمل، وأصبح لها الآن مَن يمثلها على طاولة الأشخاص من ذوي الثقل السياسي في الإدارة الأمريكية - مثل وزيرَي الخزانة والدفاع - في مناقشات الإدارة لاستراتيجية إدارة المناخ في البلاد .

وتعقيبًا على ذلك، يقول جافين شميدت، مصمم النماذج المناخية من معهد جودارد لدراسات الفضاء التابع لوكالة "ناسا" في مدينة نيويورك، واستشاري شؤون المناخ الجديد للوكالة: "إذا كنت ستضع سياسات متعلقة بمسائل علمية، فعليك ضم العلماء إلى طاولة صناع القرار".

وذكر بيل نيلسون، مدير وكالة "ناسا" الجديد والعضو السابق بمجلس الشيوخ، أنه يدعم أبحاث علوم الأرض التي تجريها الوكالة. كما قال خلال جلسة الاستماع الخاصة بتأكيد تعيينه أمام مجلس الشيوخ في الواحد والعشرين من إبريل الماضي: "لا يمكنك التخفيف من وطأة التغير المناخي، ما لم تقِس حجمه، وهذا يصب في صميم خبرة وكالة ناسا".

عراقيل الميزانية

تتضمن عمليات الرصد البطولية لوكالة "ناسا" فيما يخص تغيُّر المناخ برنامجًا مدته 29 عامًا، يسجل ارتفاع مستوى سطح البحر على الصعيد العالمي، من خلال قياس هذا الارتفاع بدقة من الفضاء مع جهات تعاوُن فرنسية وكيانات أخرى، وعَبْر دراسات انطلقت في عام 2002 مع شركاء ألمانيين، لتتبُّع انحسار الجليد من جرينلاند والقارة القطبية الجنوبية. وتشمل مهام الوكالة مستقبلًا إطلاق قمر اصطناعي راداري بموجب تعاوُن أمريكي هندي سيتتبع التَّغيُّرات التي تطرأ على الكوكب، مثل التحوُّلات في الغطاء الجليدي البحري، فضلًا عن مركبة فضائية يدشنها تعاوُن أمريكي كندي فرنسي بريطاني، تُجْرِي مسحًا لموارد المياه العذبة، وتيارات المحيطات. ومن المقرر إطلاق كلا المركبتين في العام المقبل.

وقد واجهت وكالة "ناسا" صعوبات في إدخال بعض بعثاتها المناخية المرتقبة بلهفةٍ بالغة حيزَ التنفيذ. وعلى سبيل المثال، تعتزم الوكالة إطلاق سلسلة من المركبات الفضائية، التي من شأنها قياس الملامح الأساسية للاحترار العالمي، مثل التحوُّلات في السُّحب وهطْل الأمطار، والتَّغيُّرات في كتلة الأرض مع نضوب المياه الجوفية. وقد أُنشئت هذه البعثات بموجب تقرير واسع الأثر، صدر في عام 2018، من الأكاديميات الوطنية الأمريكية للعلوم والهندسة والطب، وذكر خمسة "أهداف محددة للرصد" ينبغي للوكالة مراقبتها. وتشكِّل هذه الأهداف ما تطلق عليه وكالة "ناسا" إجْمالًا "مرصد منظومة كوكب الأرض". وهذه الأهداف من شأنها مساعدة العلماء على الاستمرار في تتبع التَّغيُّرات العالمية التي تطرأ على كوكبنا. كما تقدم لواضعي السياسات البيانات التي يحتاجون إليها لإرشاد إجراءات التصدي لتغيُّر المناخ.

"لا يمكنك التخفيف من وطأة التغير المناخي، ما لم تقِس حجمه، وهذا يصب في صميم خبرة وكالة ناسا".

ووفقًا للتقديرات التي وردت في التقرير، فإن هذه البعثات الضرورية قد تتراوح تكلفة الواحدة منها بين 300 و800 مليون دولار أمريكي. كما أشار التقرير إلى أنها قد تكون قابلة للتنفيذ، حتى في ظل ميزانيات محدودة. وجدير بالذكر أن ميزانية الوكالة السنوية فيما يخص علوم الأرض قد ظلت تبلغ قرابة ملياري دولار لسنوات عديدة، وذلك حتى مع حصول برامج الوكالة الأخرى، مثل برامج علوم الكواكب، على زيادات تمويلية ضخمة.

وفي شهر إبريل الماضي، اقترح بايدن زيادة ميزانية وكالة "ناسا" لأبحاث علوم الأرض إلى ما يقرب من 2.3 مليار دولار، ولو أن الكونجرس سيحتاج إلى اعتماد هذه الميزانية. وحول ذلك، يقول عبد العاطي، الذي شغل سابقًا منصب كبير العلماء في وكالة "ناسا"، وشارك أيضًا في قيادة فريق إعداد تقرير الأكاديميات الوطنية لعام 2018: "إنها مساعدة كبيرة، وأنا أؤيدها"، لكنه استدرك قائلًا: "نتيجة لقلة ضخ الاستثمارات لهذه الغاية لسنوات عديدة، فهي تبدو أفضل مما هي عليه". (اقتُرحت أيضًا زيادة ميزانية الإدارة الوطنية الأمريكية للمحيطات والغلاف الجوي بحوالي 500 مليون دولار، لخدمة سلسلة الأقمار الصناعية الخاصة بها التي ترصد الطقس والمناخ).

وعلى الرغم من الصعوبات التي تواجهها وكالة "ناسا" بسبب نقص ميزانيتها، فقد تمكنت من الاستمرار في إجراء أبحاث المناخ على مدى السنوات القليلة الماضية. وقد دبَّرت تمويلات بشق الأنفس لبدء العمل على مركبة جديدة تسمى ليبيرا "Libera"، من المزمع أن تُطلق في عام 2027 لقياس الإشعاع الشمسي، بحيث يتسنى للوكالة إعداد سِجِلّ شديد الأهمية لمدة أربعة عقود حول مقدار الحرارة التي يمتصها الغلاف الجوي للأرض، لكنها لم تحرز التقدم الذي كانت تنشده في مراقبة الأهداف المحددة للرصد. وفي ذلك الصدد، تقول سان جيرمان: "على مدار العام الماضي، واجهنا ظروفًا شديدة الصعوبة مع ظهور كوفيد".

وإذا وافق الكونجرس على تقديم دعم كبير لقسم علوم الأرض في وكالة "ناسا"، فقد تتمكن الوكالة أخيرًا من إسراع خطى التقدم الذي تحرزه فيما يتعلق بالأقمار الصناعية المخصصة لمتابعة تغيُّر المناخ. ومن المتوقع صدور قرار التَّمويل خلال الأشهر المقبلة.

وفي هذا السياق، تقول هيلين فريكر، اختصاصية علوم الجليد من معهد سكريبس لعلوم المحيطات في منطقة لاهويا في ولاية كاليفورنيا الأمريكية، التي تدرس انحسار الجليد في القارة القطبية الجنوبية: "إنّ تغيُّر الإدارة الأمريكية يعني الآن أنه يمكننا بالفعل البدء في تنفيذ بعض هذه المهام". وتضيف قائلة: "يُمكِننا تعويض الوقت المُهدر، والمضيّ في ذلك".



ILLUSTRATION BY DAVID PARKINS

الاستعداد للجائحة القادمة

على الرغم من تحذيرات سابقة، لم تتمكن جهات تصنيع الأدوية من إعداد مخزون كافٍ من المُركَّبات لمكافحة الجوائح الفيروسية، فهل يمكنها أخيرًا أن تهتدي إلى طريقة تكفل الاستعداد لما هو قادم؟ **بقلم إيلي دولجين**

كان عام 2003 نذير شؤم فيما يتعلق بالأمراض المُعدية الناشئة. فقد قفزت سلالتان فتاكتان من سلالات فيروس الإنفلونزا من عالم الطيور إلى البشر في هونج كونج، وهولندا. وكان نوع جديد من فيروسات كورونا ينتشر في أرجاء العالم في ذلك الوقت، مُسبِّبًا مرضًا غامضًا أصبح يُعرف بالمتلازمة التنفسية الحادة الوخيمة، أو "سارس" SARS. وتخوف العديد من الخبراء من أن نكون بصدد انطلاق جائحة عالمية.

ولحسن الحظ، لم يتحقق أسوأ السيناريوهات في هذه الحالة، لكنّ الوضع وقتها كان ينذر بخطر وشيك، جعل روبرت ويبستر، وهو من أهم العلماء المتخصصين في إنفلونزا الطيور، يبدأ في حث العلماء وواضعي السياسات على الاستعداد للفاشية التالية. وكان من بين أهم التوصيات التي أصدرها ويبستر: تطويرُ أدوية تستهدف طائفة واسعة من المُمْرِضات الفيروسية، والحرص على الاحتفاظ بمخزون منها[1]، لكنّ باحثي الدراسات الدوائية لم يُصغوا لنداء ويبستر، فبعد أن خفَّت حدة التهديد الذي شكَّله مرض "سارس"، تلاشى الاهتمام بالمسألة،

ودفـع العالَـمُ ثَمـنَ ذلـك غاليًـا. فحسـبما يقـول ويبسـتر، الـذي يشـغل الآن منصـب عضو فخري بمستشـفى سـانت جـود لأبحـاث الأطفـال فـي ممفيـس بولايـة تينيسي: "كان يتوجـب علـى المجتمـع العلمـي تطوير مضادات فيروسـية شـاملة فـي مواجهـة سـارس. ولـو حدث ذلـك، لـكان لدينا الآن بعـض المخزون للتصدي لكوفيد"، وهو مرض يُسـبِّبه "سارس-كوف-2" SARS-CoV-2، وهو فيروس قريب تطوريًّا مـن الفيروس المسـؤول عـن الإصابة بـ"سـارس".

جاءت الصرخة التحذيرية التالية في عام 2012، عندما انتشرت في بضعة بلدان متلازمة الشرق الأوسط التنفسية "ميرس" MERS، التي كان سببها فيروس آخر قريبًا تطوريًّا من فيروس "سارس-كوف-2". ومع ذلك، افتقرت ترسانتنا الدوائية - إلى حد كبير – إلى الأدوية المطلوبة، وهي حقيقة يَعتبِرها جيه برادنر، رئيس معاهد نوفارتس لأبحاث الطب الحيوي في كامبريدج بولاية ماساتشوستس، "أمرًا مؤسفًا".

كما أردف برادنر قائلًا: "إنه لأمر مُخز. كان من الممكن أن نكون أكثر استعدادًا للجائحة".

وباسـتثناء النجـاح المحـدود الـذي حققـه عقـار "ريمديسـيفير" remdesivir، وهـو عـلاج طُـوِّر فـي الأصل لعـلاج التهـاب الكبـد الوبائي "سـي"، ومـرض الإيبـولا، لم تكـن هنـاك على أرض الواقع أية عقاقير واعدة يمكن اختبار كفاءتهـا، وتوزيعهـا علـى وجـه السـرعة للتصـدي لفيـروس "سـارس-كوف- 2". ويتحسّـر الباحثـون علـى أنـه لـم يكـن هنـاك مزيـد مـن الخيـارات لمواجهـة الجائحـة، حيـث تقول كارا كارتـر، وهـي رئيـس قسـم الاكتشـافات البيولوجيـة بشـركة التكنولوجيـا الحيويـة "ديوبوينـت ثيرابيوتيكـس" Dewpoint Therapeutics، التـي تقـع فـي بوسـطن بولاية ماساتشوستس الأمريكية، ورئيس الجمعية الدولية لأبحاث مضادات الفيروسـات: "إننا بحاجة إلى ترسانة من الأدوية".

تلوح في الأفق حاليًّا مبادرات جديدة لإنشاء تلك الترسانة، فعلى سبيل المثال، تخطط معاهد الصحة الوطنية الأمريكية (NIH) لبرنامج رئيس يهدف إلى تطوير علاجات ضد السلالات المتحورة من فيروس "سارس-كوف-2"، وغيره من الفيروسات الأخرى التي يمكن أن تُسبب جائحة جديدة. وهناك تحالُف جديد مدعوم من مجال الصناعة يستهدف فيروسات الإنفلونزا، وفيروسات كورونا. كما تأمل تحالفات أخرى في إنتاج مضادات فيروسية للمُمْرِضات الأبعد صلةً لفيروسات كورونا، التي تهدد بالتسبب في حدوث جائحة.

وهـذه المشـروعات لـن تنطلـق مـن نقطـة الصفـر، فقد شـهد العـام الماضـي مجموعـة مـن الجهـود التـي تهـدف إلـى اكتشـاف الأدويـة، تضـع "سـارس-كوف-2" علـى رأس أولوياتهـا، بيـد أنـه مـع تركيـز صناعـة الأدويـة فـي أغلـب الوقـت علـى مـدار تاريخهـا علـى بضـع فيروسـات معينـة فحسـب، مثـل فيـروس نقـص المناعـة البشـرية، والتهـاب الكبـد الوبائـي "سـي"، يظـل العثـور علـى وسـائل لمحاربة التهديـدات المعروفـة والمُحتملـة هدفًـا صعـب المنـال.

و"أمامنا الكثير من العمل الضروري"، حسبما يقول نات مورمان، عالم الفيروسات من جامعة نورث كارولينا في تشابل هيل، لكنْ يبقى السؤال: ما الخيار المتاح لدى المجتمع العلمي؟ حول ذلك، يقول مورمان: "لا نريد أن نعيش عامًا آخر مثل سنة 2020، وإذا أنجزنا العمل المطلوب الآن، فلن نضطر لمواجهة هذه التجربة في المستقبل".

عقاقير جاهزة للعمل

كان التوصل إلى عقار "ريمديسيفير" ثمرة تفكير مدروس ومُحكم من جانب الباحثين العاملين في مركز اكتشاف الأدوية المضادة للفيروسات وتطويرها (AD3C)، وهو مشروع مدعوم من معاهد الصحة الوطنية الأمريكية، أُطلق منذ سبع سنوات. ويهدف هذا المشروع إلى فرز مكتبات الأدوية الموجودة حاليًّا، بحثًا عن مُثبِّطات للإنفلونزا، وفيروسات كورونا، وفيروسات ألفا (مثل تلك المسؤولة عن داء الشيكونجونيا)، والفيروسات المُصفِّرة Flavivirus (أي المُمْرِضات المسببة لحمى الضنك، وزيكا، وغيرهما). وفي عام 2017، كشف الباحثون بمركز اكتشاف الأدوية المضادة للفيروسات وتطويرها عن إمكانيات عقار "ريمديسيفير



إنه لأمر مُخز. كان بإمكاننا أن نكون أكثر استعدادًا لمواجهة الجائحة".

المضادة لفيروس كورونا في التجارب التي أُجريت على نماذج حيوانية[2]. وفي الوقت نفسه تقريبًا، أظهرت التجارب التي أُجريت خلال حالتي تفشٍّ لمرض الإيبولا في أفريقيا أن العقار آمن للاستخدام على البشر.

ومن هذا المنطلق، عندما اندلعت جائحة "كوفيد-19"، كان عقار "ريمديسيفير" جاهزًا للاستخدام بالفعل. وأمكن إدخـال العقار سريعًا إلى التجارب التي تُجرى على البشـر لاختبـار قدرتـه علـى مواجهة فيـروس كورونـا الجديد. وفي تجربـة كبيـرة اسـتمرت ثلاثـة أشـهر فـي أوائـل عـام 2020، تنـاول فيهـا أفـراد مجموعـة المقارنـة دواءً وهميًّـا، أظهـر الأطبـاء أن الـدواء يُسـرِّع مـن تعافـي مرضـى "كوفيـد- 19" من نزلاء المستشـفيات[3]، لكن فائدة ريمديسـيفير لم تتعد ذلـك، إذ لـم تتمكن دراسـات إكلينيكيـة مـن تأكيد أن العقار يقـدم أي فائدة تُذكَر للمرضى[4]. واتسـم الـدواء كذلك بأنه باهـظ الثمن، وصعب التصنيـع، ويجب إعطاؤه عن طريق الوريـد فـي المستشـفيات، وكلهـا سـمات غير مرغـوب فيها فـي خضـم انتشـار جائحـة.

ويمكـن لعقـار آخـر مضاد للفيروسـات، يقتـرب الآن من الحصـول علـى تصريح باسـتخدامه، أن يعالـج بعض هذه المشـكلات، وهـو عقار "مولنوبيرافير" Molnupiravir، الذي يمثِّـل خيـارًا آخر، من عقار أسـهل تصنيعًا يؤخذ عن طريق الفـم، كمـا وُجِـد أنه يُقصِّر مـدة القدرة علـى نقل العدوى بين الأشـخاص المصابين بـ"كوفيـد-19" ممن تظهر عليهم أعـراض المرض. وجدير بالذكر أن التجارب الإكلينيكية التي تجري حاليًّا على قدم وسـاق بشـأن هذا العقار قد اقتربت مـن مراحلها النهائية.

وبالمثل، فهذا العقار درسه للمرة الأولى[5] علماء مركز اكتشاف الأدوية المضادة للفيروسات وتطويرها في فترة ما قبل الجائحة، الذين اكتشفوا كذلك أدلة ومؤشرات واعدة فيما يخص قدرة العقار على مواجهة فيروسات ألفا، والفيروسات المُصفِّرة. وحسبما يرى ريتشارد وايتلي، رئيس المركز، واختصاصي الأمراض المعدية للأطفال من جامعة ألاباما في برمنجهام، فإن جميع هذه الأدوية الواعدة تعمل ككتل بنائية جينية مزيفة تعوق قدرة الفيروسات على نسخ جينوماتها بدقة كاملة. وبدلًا من إدخال قواعد الحمض النووي الريبي السليمة أثناء التنسخ الفيروسي، يخدع الباحثون إنزيمًا فيروسيًّا يسمى "البوليميراز"، لكي يُدخِل مشتقات الأدوية إلى عملية النسخ. وفي ضوء أن بوليميرازات البشر لا يمكن خداعها، فالفيروسات فقط هي التي تتأثر. (تُستخدم عقاقير مماثلة في علاج التهاب الكبد الوبائي "بي"، وفيروس نقص المناعة البشرية، وعدة فيروسات أخرى).

وبالنظر إلى أن اكتشاف الأخطاء الجينية ليس مساحة تَبَرَع فيها الفيروسات بشكل عام، فهذه الأنواع من العلاجات، التي تُسمَّى نظائر النيوكليوسيد، غالبًا ما تكون فعالة مع عدة عائلات فيروسية. وفي الوقت ذاته، فإن هذه الأدوية المضادة للفيروسات التي ترتبط مباشرة بالإنزيمات وتعوق وظيفتها، والتي يمكن القول إنها تشكل الغالبية العظمى من مضادات الفيروسات، لا تتمتع عادةً بمثل هذا المفعول الواسع على مدى العائلات الفيروسية المختلفة. ومن حيث المبدأ، يمكن للعلماء تصميم أدوية تتصدى لكثير من الفيروسات، وذلك من خلال مهاجمة المناطق الجينية التي احتفظت بحالتها على مدى تطوُّر الفيروس، والتي تتألف من البروتينات المطلوب استهدافها، حسب وصف جاسبر فوك-وو تشان، الباحث في مجال الأمراض المعدية الناشئة من جامعة هونج كونج، الذي يضيف قائلًا: "من الناحية التقليدية، كان النهج الساري دائمًا ما يستند إلى طريقة: علة واحدة...عقار واحد".

وقـد أسـدت هـذه الفلسـفة خدمـة كبيـرة للصناعـة فيمـا يتعلـق بصنـع أدويـة جديدة لفيـروس نقـص المناعة البشـرية، أو التهـاب الكبـد الوبائي "سـي"، "لكنها أثبتـت عـدم فعاليتهـا فيمـا يتعلـق بالتصـدي السـريع للأوبئـة أو الجوائـح"، حسـب قـول تشـان.

أهداف صعبة

مـن نَـواحٍ عديـدة، تعـود الفعاليـة المحـدودة لمضـادات الفيروسـات الموجـودة حاليًّا، بشـكل أساسـي، إلـى طبيعـة الفيروسـات ذاتهـا. فالأنـواع الأخـرى مـن المُمْرِضـات، مثل البكتيريـا، والفطريـات، والطفيليـات، يمكـن احتواؤهـا بسـهولة أكبـر، لأن خصائصهـا الخلويـة تتيـح الكثيـر مـن الأهـداف التي يمكن أن تتصدى لها الأدوية. فلو نظرنا إلى البنسـلين مثلًا، لوجدنا أنه يعوق عملية تكوّن جدار الخلية البكتيرية، أما مضادات الفطريات من عائلة الآزولات، فهي تسـبب اضطرابًا في غشـاء الخلية.

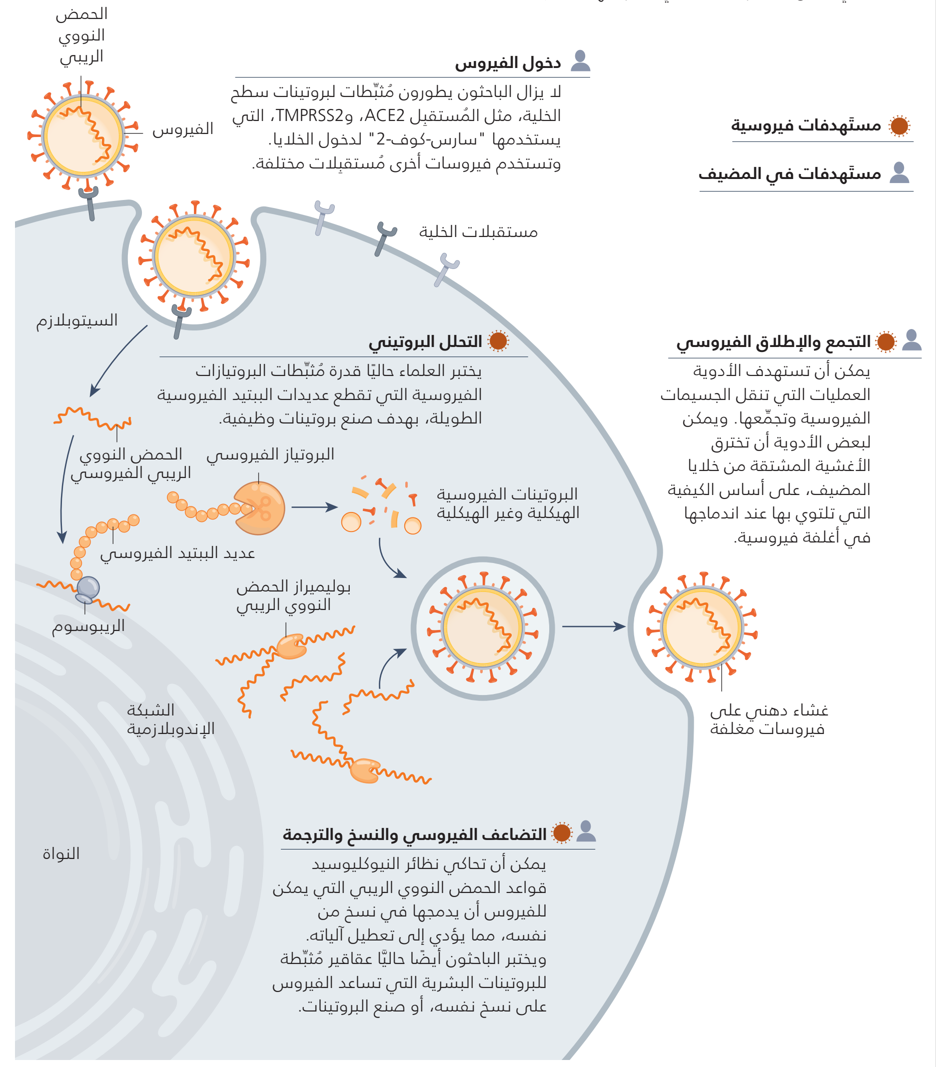
وتتيح الفيروسات عددًا أقل كثيرًا من المستهدَفات القابلة للتأثر بالأدوية، لما لها من جينوم مُدمج مضغوط، وافتقارها إلى التشريح الخلوي. ويمكن أيضًا أن نضيف إلى ذلك معدلات التنسخ الفيروسي المرتفعة، إذ يُعتقَد مثلا أن الإصابة بعدوى "سارس-كوف-2" النمطية تنتِج أكثر من مليون جسيم فيروسي عند كل شخص في اليوم الواحد[6]، إلى جانب ما يصاحب ذلك من تحور جيني ملازم، فلا عجب في نهاية المطاف من أن غالبية مضادات الفيروسات الموجودة حاليًّا ثبت عدم فعاليتها في علاج "كوفيد-19".

و"مرونة الفيروسات" هو مصطلح يعني أن العقار الذي يتميز بمفعول ضد الهربس، على سبيل المثال، لن يكون له - على الأرجح - تأثير ضد فيروسات كورونا. ولهذا السبب، فإن أليخاندرو تشافيز، وهو متخصص في الهندسة الحيوية، وباحث في الأدوية المضادة للفيروسات في مركز إيرفينج الطبي التابع لجامعة كولومبيا في مدينة نيويورك، يعبّر عن تشككه في أن يكتشف أي شخص "مُثبِّطًا سحريًّا يمكنه أن يتصدى لكل شيء ببساطة".

من هنا، فهو يضيف قائلًا: "غاية أملنا هو أن نجد مُثبِّطات فعَّالة ضد عائلة فيروسية بأكملها، إذا كنَّا محظوظين حقًّا". فالسيناريو الأفضل يتلخص في اكتشاف مُثبِّط لعموم فيروسات كورونا، لكنْ ربما يتمثل الهدف الأكثر منطقية

طرق عديدة لتثبيط الفيروسات

لمحاربة مجموعة كبيرة من الفيروسات، يمكن للعقاقير المضادة للفيروسات أن تستهدف السمات المحفوظة على مدى تطور الفيروسات، التي تشترك فيها الفيروسات نفسها بدرجة كبيرة، أو أن تتداخل مع العمليات البيولوجية في المضيف الذي تستغله الفيروسات لإصابة الخلايا بالعدوى والانتشار. وفيما يلي بعض الاستراتيجيات التي ينظر فيها الباحثون.



NIK SPENCER/NATURE

في تطوير دواءٍ لمجموعة فرعية من فيروسات كورونا، مثل فيروسات كورونا ألفا، التي تُسبِّب حاليًّا عدوى غير فتَّاكة للبشر، والحصول على دواء مختلف لفيروسات كورونا بيتا، وهي مجموعة الفيروسات المسؤولة عن الإصابة بـ"سارس"، و"ميرس"، و"كوفيد-19".

وبمجرد التعرف على السلالة الفيروسية، "تنطبق مبادئ اكتشاف الأدوية نفسها"، حسب قول مارنيكس فان لوك، رئيس قسم مُسبِّبات الأمراض الناشئة بوحدة الصحة العامة العالمية، التابعة لشركة "جونسون أند جونسون" Johnson & Johnson في بيرس، بلجيكا. فكما يوضح، يحتاج الباحثون إلى إيجاد "بؤر قابلة للتأثر بالأدوية" على أسطح الإنزيمات الأساسية التي توجد بالشكل نفسه عند الفيروسات القريبة تطوريًّا من بعضها البعض، والتي يمكن استخدامها لتصميم الجزيئات النشطة في الأدوية.

وهكذا يكون الحال - على الأقل - إذا كان الدواء مُوجَّهًا نحو الفيروس ذاته، لكنْ بدلًا من ذلك، يهدف بعض الباحثين في مجال الأدوية إلى اعتراض المسارات التي تستولي عليها مجموعة كبيرة من الفيروسات في أجساد البشر لأغراضها الخاصة. وأحد هؤلاء الباحثين - على سبيل المثال - هو جيفري جلين، الذي يطور عقارًا يُعطِّل إنزيمًا منظِّمًا للدهون، تستغله فيروسات عديدة لتعزيز قدرتها على دخول الخلايا والتنسخ. ومن خلال تثبيط هذا الإنزيم، "فإنك تُجرِّد الفيروس من القدرة على الوصول إلى الوظيفة التي يعتمد عليها في العائل"، حسب وصف جلين، وهو متخصص في أمراض الجهاز الهضمي، وفي علم الفيروسات الجزيئي في كلية الطب التابعة لجامعة ستانفورد في كاليفورنيا.

وثمة استراتيجية أخرى لمكافحة الفيروسات تعتمد في عملها على العائل، ابتكرها اثنان من المتدربين السابقين في فريق جلين، وهما: نام-جون تشو، عالِم المواد من جامعة نانيانج التكنولوجية في سنغافورة، وجوشوا جاكمان، اختصاصي الهندسة الكيميائية من جامعة سونجكيونكوان في سيول. طوَّر هذان الباحثان أدوية ببتيدية صغيرة تُحْدِث ثقوبًا في الأغلفة الدهنية الموجودة حول الفيروسات المُغلَّفة[7]. وتأتي هذه الدهون من السطح الغشائي للخلايا البشرية، لكنّ الببتيدات تخترق الدهون المُغلِّفة للفيروسات فقط، لا الخلايا، بفضل الاختلافات في حجم بِنْية الغشاء، ومدى مرونته عند التعرّض للضغط.

ويصف تشو هذا الغطاء الدهني بأنه "القاسم المشترك" لجميع الفيروسات المُغلفة، وهي مجموعة تشمل الفيروسات المُصفِّرة، وفيروسات ألفا، وفيروسات كورونا، والفيروسات الخيطية، وفيروسات النسخ العكسي، وغيرها. ولا توجد سمة أخرى مشتركة على نطاق واسع بين جميع هذه الفيروسات المتنوعة. ولهذا السبب، يعتقد تشو أن مضادات الفيروسات التي تعتمد في عملها على المضيف قد تملك إمكانات أكبر كأدوات نستعد من خلالها للجائحة القادمة.

تتيح البيولوجيا البشرية أيضًا العديد من الأهداف التي يُحتمل أن تكون قابلة للتأثر بالأدوية أكثر مما تتيحه الفيروسات. وبالإضافة إلى ذلك، تتميز الفيروسات بأنها أقل قدرة على تطوير مقاومة ضد مضادات الفيروسات التي تعتمد في عملها على المضيف. فقد يحتاج البروتين الفيروسي إلى مجرد طفرة أو اثنتين فقط لتثبيط ارتباط العقار به، على سبيل المثال، في حين أن علاجًا يعتمد في عمله على المضيف بإمكانه أن يجبر الفيروس على اللجوء إلى عمليات خلوية مختلفة تمام الاختلاف.

ويخشى بعض العلماء من احتمالية أن يؤدي العبث بالمسارات الجزيئية البشرية إلى آثار جانبية غير مرغوب فيها، لكن شيريت إيناف، عالمة الفيروسات، واختصاصية الأمراض المُعدية من جامعة ستانفورد، تعتقد أن تلك المخاوف المتعلقة بالسمية مُبالَغ فيها. وتقول إيناف: "نعالج جميع الأمراض الأخرى من خلال استهداف وظيفة المضيف"، كما أن شركات الأدوية تستطيع اكتشاف الجزيئات وأنظمة الجرعات التي يمكن للأشخاص تحَمُّلها، دون ظهور أعراض جانبية. لماذا إذَن يكون الحال مختلفًا مع مضادات الفيروسات؟ وتضيف إيناف قائلة إنّ "علاج حالات العدوى الحادة لا يتطلب سوى عدة أيام" - وليس شهورًا، أو سنوات، كما هو الحال فيما يخص الأمراض المزمنة، "مما يساعد أيضًا على تقليل السمية التي يتعرض لها المضيف".

خطوات على طريق التأهب

ربما يوفر مزيج من الأدوية التي تعتمد في عملها على المضيف، والأدوية الأخرى ذات المفعول المباشر، أفضل حماية في مواجهة التهديدات الفيروسية المستقبلية، بيد أنه مهما كانت الاستراتيجية التي يتَّبعها العلماء، يتفق الخبراء على أن أي عقار مُخصَّص للاستعداد للجائحة ينبغي أن يكون قد خضع لاختبارات كاملة على الأقل، تُجرَى على نماذج حيوانية، وأن يخضع لبعض التجارب في متطوعين أصحاء من البشر. و"بعد ذلك، عند اندلاع جائحة، يمكننا توزيع تلك الأدوية سريعًا بأفضل نطاق للجرعات المناسِبة للبشر"، حسبما يقول عالم الكيمياء كيلي تشيبالي، رئيس مركز اكتشاف الأدوية وتطويرها من جامعة كيب تاون بجنوب أفريقيا.

وسوف يتمثل الهدف في اعتماد مثل هذا العقار وتوزيعه عند تلك اللحظة الحاسمة التي تستلزم تصرفًا سريعًا، أي عند عدم توفر أنواع أخرى من أدوية الاستجابة السريعة، مثل اللقاحات، أو العلاجات بالأجسام المضادة.

باشر مطورو الأدوية بعضًا من هذه الجهود الاستباقية في أعقاب تفشي "سارس"، وذلك في مختبرات لاهويا، التابعة لشركة "فايزر" Pfizer للأدوية في كاليفورنيا، على سبيل المثال، إذ تمثلت استجابة العلماء لتفشي المرض في عام 2003 في تصميم جزيء[8] يُثبِّط بروتينًا بعينه، يُعَد أساسيًّا لعملية تنسُّخ فيروس كورونا المسبب لهذا المرض، وهو إنزيم يُعرف باسم البروتياز الرئيس (M^{pro})، الذي يتولى تقطيع سلاسل طويلة من البروتينات الفيروسية إلى أجزائها الوظيفية.

وعلى مدار ستة أشهر تقريبًا، "كان الجهد المبذول مكثفًا للغاية"، حسب قول عالم الكيمياء روب كانيا، الذي قاد مشروع "سارس" التابع لشركة "فايزر"، لكن حالات العدوى سرعان ما تلاشت. وبعد الإبلاغ عن آخر حالات الإصابة بفيروس "سارس" في عام 2004، أجّلت شركة "فايزر" وشركات

أخرى تعمل على عقاقير التصدي للفيروس برامجها، إذ لم تكن هناك سوق مستقبلية للعلاج. وكما يُبيِّن تيموثي شيهان، عالم الفيروسات من جامعة نورث كارولينا، الذي عمل سابقًا في مجال المستحضرات الصيدلانية: "من الصعب إقناع شركة بصنع عقار مضاد لمُمْرِض غير موجود بالفعل".

ولكن فرصة إدخال تحسينات على أبرز العقاقير الواعدة بشكل يسمح باستخدامه إكلينيكيًّا لم تُتَح أبدًا لفريق كانيا البحثي، ناهيك عن اختبار العلاج على الفئران، أو على البشر. ولذلك، فعندما ظهر فيروس "سارس-كوف-2"، وكشفت التحليلات الجينومية أن بروتين M^{pro} للفيروس يكاد يطابق بروتين المُمرِض الأصلي المسبِّب لمرض "سارس"، (المتلازمة التنفسية الحادة الوخيمة)، كان يتوجب على الباحثين إجراء قدر كبير من الضبط الكيميائي الدقيق. وبحلول الوقت الذي أصبح فيه الدواء جاهزًا للاختبار على البشر[9]، وإنْ كان قد اختلف في الشكل النهائي بصورة طفيفة، كانت الموجة الأولى من الجائحة قد هدأت بالفعل، ولقي قرابة المليون شخص حتفهم بسبب الإصابة بالعدوى في أرجاء العالم.

دخل ذلك العقار، المُسمَّى "PF-07304814"، طور التجارب في سبتمبر الماضي في صورة علاج يُحقن عن طريق الوريد. وعلى الرغم من أنه كان بالإمكان تطوير الأبحاث بصورة أكبر، فعلى الأقل لم تبدأ شركة "فايزر" من الصفر، كما تقول تشارلوت أليرتون، رئيسة قسم تصميم الأدوية بالشركة. ورغم أن الشركات الأخرى تعمل على تعطيل المستهدف ذاته، فإن "فايزر" هي الشركة الوحيدة المصنعة للأدوية التي تمتلك مثبطًا تجريبيًّا لبروتين M^{pro} في التجارب البشرية التي تُجرى حاليًّا، بل تمتلك اثنين في حقيقة الأمر، فبخلاف دواء "سارس" المُعاد تطويره، الذي أنتجته شركة "فايزر"، بدأت الشركة خلال الشهر الماضي تجاربها على عقار واعد مختلف، يؤخذ عن طريق الفم ، هو "PF-07321332".

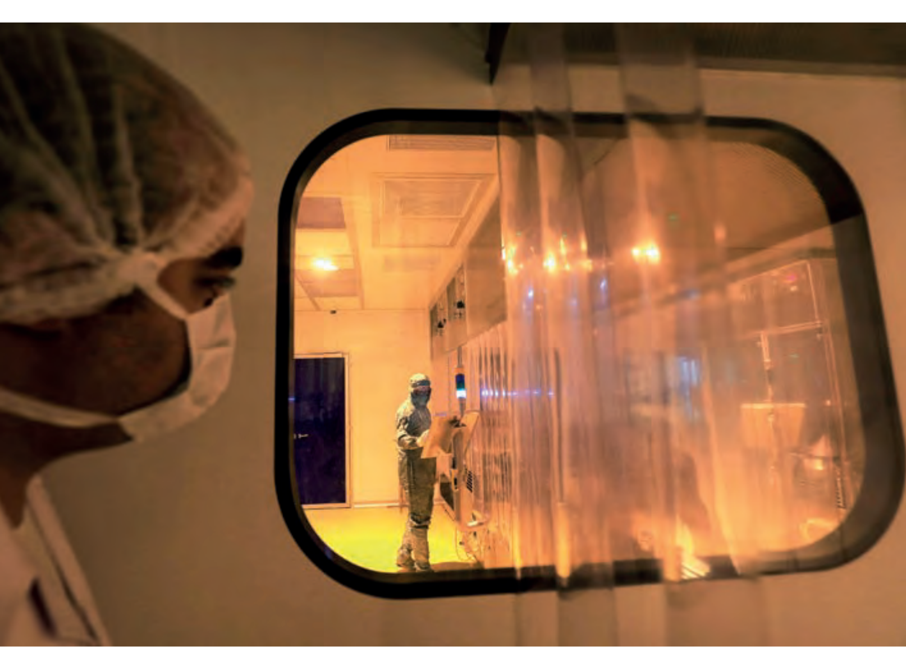
وحول ذلك، تقول أليرتون: "أشعر بالسعادة لأننا كنا في وضع يسمح لنا بالتحرك سريعًا، ولأننا كنا قد انتهينا من الأعمال التحضيرية". وتردف قائلة: "لكنني تمنَّيت لو كنا قد استطعنا أن نقطع شوطًا أطول، فهل كان بإمكاننا بالتالي تقديم خيارات العلاج في وقت أقرب؟ بالقَطْع نعم".

صيحة تنبيه

في الوقت الحالي، تتعهد الشركات التي لم تكن قد بذلت المستوى نفسه من العمل الشاق، بألا يتكرر هذا مستقبلًا، إذ يقول جون يونج، الرئيس العالمي لقسم الأمراض المعدية في شركة "روش" Roche للأدوية، التي يقع مقرها في بازل بسويسرا، إن الجائحة كانت بمثابة "صيحة تنبيه"، ويضيف قائلًا: "إن ظهور الجائحة التالية ليس إلا مسألة وقت، وعلينا في مجال الصناعة أن نكون مستعدين لمواجهتها".

وتحقيقًا لهذه الغاية، فإن قادة تحالف "كوفيد للبحث والتطوير" (CoVID R&D Alliance) - الذي يضم أكثر من عشرين شركة تعمل في مجال علوم الحياة، وشركات رأس مال استثماري، اتحدت معًا خلال العام الماضي؛ للتصدي لجائحة "سارس-كوف-2" - بصدد إطلاق مشروع جانبي مُوَجَّه نحو إنتاج مضادات فيروسات واسعة المجال، لعلاج فيروسات كورونا، وفيروسات الإنفلونزا. وحسبما أورد إليوت ليفي، رئيس قسم استراتيجيات العمليات والبحث والتطوير في شركة "أمجن"Amgen، التي تقع في مدينة ثاوزاند أوكس بولاية كاليفورنيا الأمريكية، والذي يترأس تلك الجهود، فالمجموعة تخطط لدفع ما يقرب من 25 مضادًّا فيروسيًّا واعدًا، لخوض التجارب الأولية على البشر، وتشييد البِنْية التحتية للتجارب الإكلينيكية اللازمة لإجراء الاختبارات بالتوازي عندما تظهر جائحة فتاكة تالية.

وتراود حكومة الولايات المتحدة طموحات مماثلة كذلك،



AMR ABDALLAH DALSH/REUTERS

فنيو مختبر يعملون على عقار "ريمديسيفير" في منشأة تابعة لشركة "إيفا فارما" في القاهرة.



من الصعب إقناع شركة بصنع عقار مضاد لمُمْرِض غير موجود بالفعل".

إذ يقول فرانسيس كولينز، مدير معاهد الصحة الوطنية، إن مضادات الفيروسات المناوئة لفيروسات كورونا تمثل "المهمة الأولى"، لكنه صرَّح لدورية *Nature* بأن المبادرة "كانت تسعى بالتأكيد إلى أنْ تمتد لتشمل عائلات فيروسية أخرى، إذا أُتيحت التمويلات لذلك".

وثمة جهود مكملة أيضًا، تتمثل في مشروع أُطلق عليه "مُسرِّع البحوث والتطوير لمكافحة فيروس كورونا في أوروبا" Corona Accelerated R&D in Europe Project، وهو مشروع مدته خمس سنوات، بتكلفة قدرها 75,8 مليون يورو (ما يعادل 90,1 مليون دولار أمريكي)، يستهدف إيجاد علاجات لكلٍّ من جائحة "كوفيد-19" الحالية، ولأية فاشيات مستقبلية لفيروسات كورونا. ويأمل مورمان وغيره من الباحثين في جامعة نورث كارولينا، من خلال مبادرتهم المعروفة باسم: "تطوير الأدوية المضادة للفيروسات السريعة الناشئة"، في جمْع 500 مليون دولار من الحكومات، والجهات الراعية للصناعة، والمؤسسات، لتطوير مضادات فيروسية واسعة المجال، ومباشِرة المفعول.

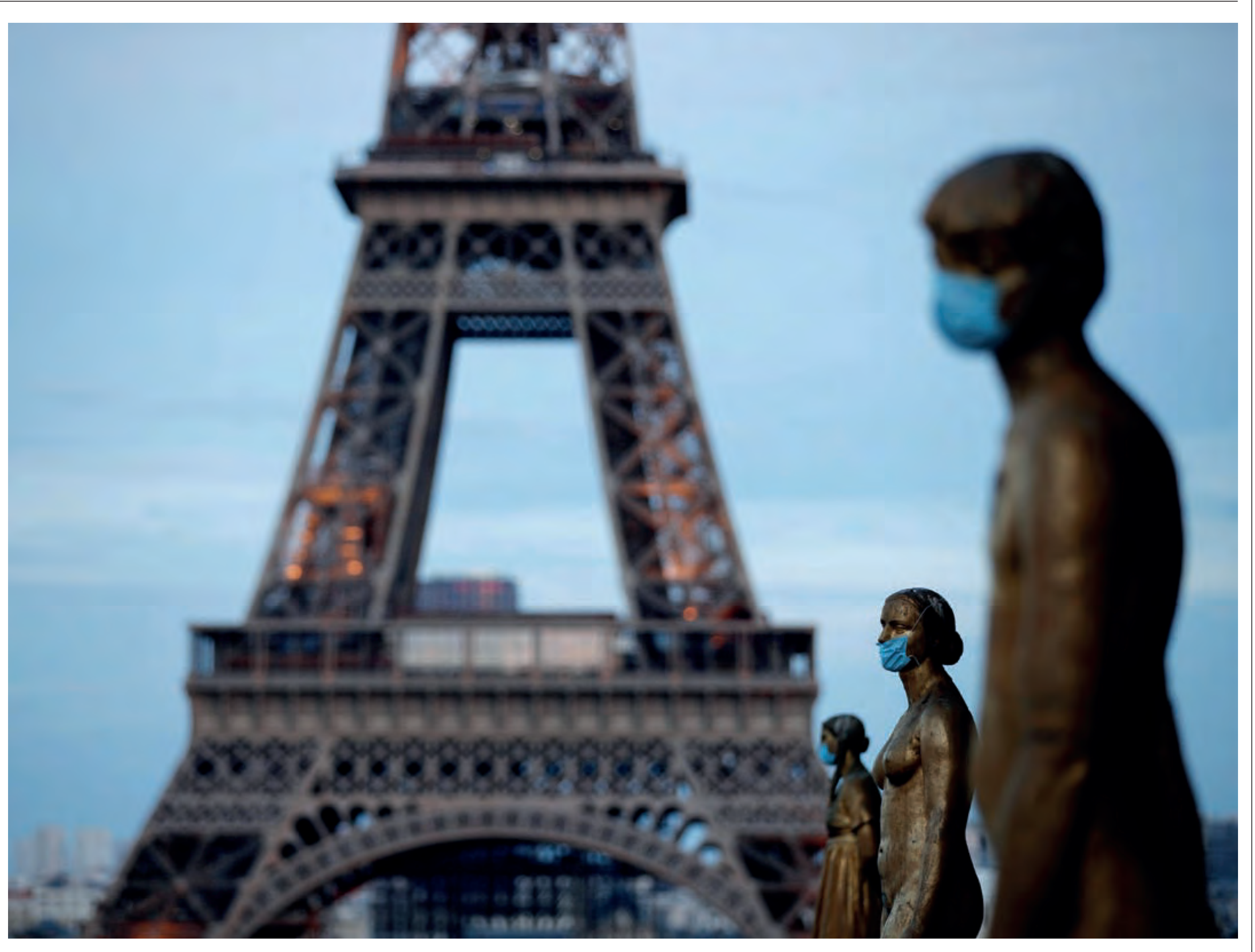
وفي الوقت ذاته، تكثف شركات أدوية كبرى جهودها الداخلية حاليًّا، فعلى سبيل المثال، تقوم شركة "نوفارتس" Novartis حاليًّا بتحسين مُثبِّط يعمل على التصدي لجميع فيروسات كورونا، وتحديدًا إنزيم M^{pro}. وحسبما يقول جون تالاريكو، رئيس قسم البيولوجيا الكيميائية والعلاجات في شركة "نوفارتس"، فإن الشركة أمامها فترة تُقدَّر بعام واحد - على الأقل - للبدء في التجارب الإكلينيكية على البشر، وبعده ربما نكون قد استطعنا السيطرة تمامًا على جائحة "كوفيد-19". ومع ذلك، وحسب قوله أيضًا، تلتزم شركة "نوفارتس" بدفع هذا البرنامج قُدمًا إلى الأمام.

ويستدرك ليفي بقوله: "معدل الاستثمارات الواردة من قطاع الصناعة حاليًّا لا يتناسب مع التهديدات المحيقة"، ولهذا السبب، يأمل ليفي في جمْع ما يقرب من مليار دولار أمريكي من شركات الأدوية وحدها لمشروع "تحالف كوفيد للبحث والتطوير"، من أجل التأهب لمواجهة الجوائح. ويقول إن الأموال الإضافية يمكن أن تأتي أيضًا من المنظمات غير الربحية، وغيرها من الأطراف المعنية المباشِرة.

ويشعر آندي بلامب، رئيس قسم البحث والتطوير بشركة "تاكيدا فارماسوتيكال" Takeda Pharmaceutical في كامبريدج بولاية ماساتشوستس، وأحد قادة التحالف، بالتفاؤل بشأن فرص نجاح البرنامج. ويقول معلقًا: "في الوقت الحالي، يوجد زخم وراء هذه الجهود، نظرًا إلى الطابع المُلِحّ لأزمة تفشي "سارس-كوف-2"، بيد أنه لا يرغب في أن نعود إلى الحالة السابقة من اللامبالاة، كما حدث بعد "سارس"، و"ميرس"، فنحن - على حد قوله - "بحاجة إلى استغلال هذه الفرصة على الفور".

إيلي دولجين صحفي علمي يقيم في سومرفيل بولاية ماساتشوستس الأمريكية.

1. Knobler, S. *et al.* (eds) *Learning from SARS: Preparing for the Next Disease Outbreak: Workshop Summary* (National Academies Press, 2004).
2. Sheahan, T. P. *et al. Sci. Transl. Med.* **9**, eaal3653 (2017).
3. Beigel, J. H. *et al. N. Engl. J. Med.* **383**, 1813–1826 (2020).
4. WHO Solidarity Trial Consortium *N. Engl. J. Med.* **384**, 497–511 (2021).
5. Sheahan, T. P. *et al. Sci. Transl. Med.* **12**, eabb5883 (2020).
6. Sender, R. *et al.* Preprint at medRxiv https://doi.org/10.1101/2020.11.16.20232009 (2020).
7. Jackman, J. A. *et al. Nature Mater.* **17**, 971–977 (2018).
8. Hoffman, R. L. *et al. J. Med. Chem.* **63**, 12725–12747 (2020).
9. Boras, B. *et al.* Preprint at bioRxiv https://doi.org/10.1101/2020.09.12.293498 (2021).



BENOIT TESSIER/REUTERS/ALAMY

تلعب الهوية الوطنية دورًا في تحديد مدى استعداد الأفراد لدعم سياسات متعلقة بالصحة العامة، مثل ارتداء الكمامات.

دراسات السلوك الإنساني تشهد تحولًا بسبب جائحة «كوفيد-19»

ثُلَقِننا جائحة "كوفيد-19" دروسًا مهمة حول كيفية التصدي للأزمات والمعلومات المضللة، فضلًا عن دورها في تحفيز الباحثين على تبني طرق جديدة في دراسة القضايا المتعلقة بالصحة العامة. **بقلم كريستي أشواندِن**

خلال الأشهر الأولى من جائحة "كوفيد-19"، كان جاي فان بافيل، اختصاصي علم النفْس من جامعة نيويورك، يسعى إلى الوقوف على العوامل الاجتماعية التي يمكن من خلالها التنبؤ، على أفضل وجه، بمدى دعم الأشخاص لتبني تدابير الصحة العامة، مثل التباعد الجسدي أو إغلاق المطاعم. وكان فان بافيل وقتها على اتصال بعدد محدود من الباحثين المشاركين الذين كانوا على استعداد لجمع بيانات في هذا الصدد من استطلاعات الرأي. غير أن تفشي الجائحة في كل مكان دَفَعَ فان بافيل إلى التساؤل عما إذا كان بإمكانه توسيع نطاق مشروعه، أم لا، وهو ما دَفَعَه بدوره للإقدام على ما لم يفعله في السابق.

نَشَرَ فان بافيل وصفًا للدراسة على موقع "تويتر" في شهر أبريل الماضي، داعيًا باحثين آخرين إلى الانضمام إليه. ويتذكر ما دار بذهنه ودفعه إلى ذلك حينئذ قائلًا: "ربما ينضم إليَّ عشرة أشخاص آخرين وأحصل على بعض البيانات الإضافية". بيد أنه تلقى استجابة فاقت كل توقعاته؛ إذ انضم 200 عَالِم من 67 دولة للمشاركة في هذا المسعى البحثي. وفي نهاية المطاف، تمكن هؤلاء الباحثون من جمع بيانات من استطلاع آراء أكثر من 46 ألف شخص. حول ذلك، يقول فان بافيل: "كان هذا تعاونًا بحثيًا ضخمًا". وأوضح فريق الباحثين أن الأشخاص الذين ذكروا أن الهوية الوطنية مهمة لهم كانوا – بوجه عام – أكثر ميلًا من غيرهم إلى دعم سياسات الصحة العامة[1]. إلا أن الدراسة لا تزال حاليًا في طور مُرَاجَعة الأقران.

وقد مثلت جائحة "كوفيد-19" للباحثين في مجال العلوم الاجتماعية فرصة فريدة من نوعها، وذلك كونها تجربة طبيعية، وليست معملية، "تمس الأفراد من الثقافات والشرائح الاجتماعية والاقتصادية كافة"، على حد وصف أندرياس أولسون، عَالِم النفْس من معهد كارولينسكا في ستوكهولم. إذ يواجه الجميع اليوم التهديدات نفسها تجاه صحتهم وسُبل عيشهم، وهو ما يعتقد أولسون أنه "يسمح لنا بدراسة الاختلافات في طرق استجابة الأفراد لهذا الوضع، باختلاف ثقافاتهم وفئاتهم الاجتماعية وما بينهم من فروق فردية". فعلى سبيل المثال، تمكن الباحثون في ضوء الجائحة من مقارنة سلوكيات الأفراد قبل حدوث تغييرات واسعة على مستوى السياسات، وبعدها، كما أصبحت دراسة ظاهرة تدفق المعلومات، والمعلومات المغلوطة، أسهل لهم من ذي قبل.

كما أدى تفشي الجائحة على ذلك النطاق العالمي إلى حشد تعاوُن غير مسبوق بين الفرق البحثية من شتى بقاع العالم. ففي ضوء تشارُك الباحثين للقدر الهائل نفسه من الاهتمام بسلوكيات الأفراد خلال الجائحة، يمكنهم اختبار صحة بعض الأفكار وسُبل التدخل المطروحة أمامهم على نحو أسرع من أي وقت مضى. كما أجبر ذلك الوضع العديد من الباحثين في مجال العلوم الاجتماعية على مواءمة طرقهم البحثية معه، في وقت أصبح فيه إجراء المقابلات الشخصية والتجارب المعملية شبه مستحيل. ويتوقع البعض أن طرق البحث المبتكرة التي نشأت على خلفية الجائحة ستستمر حتى بعد انتهاء الأزمة الحالية، بل وقد تسفر عن تغيير وجه المجال بشكل دائم.

يقول فان بافيل – على سبيل المثال – إنه في ظل هذه الطرق التي خضعت للتجربة والاختبار، أصبح تكوين فرق بحثية دولية أسهل بكثير. ويضيف فان بافيل قائلًا: "بعدما توفرت لدينا البنية التحتية المطلوبة للأبحاث وصرنا نتحلى بالخبرة، سيكون بمقدورنا تكرار ذلك في جميع المجالات".

الحوافز الاجتماعية المشجعة على التطعيمات

قبل دخول فان بافيل في ذلك التعاون البحثي الضخم، اجتمع هو ومجموعة تضم أكثر من 40 باحثًا للتخطيط للسُبل التي يمكن من خلالها الاستفادة من البحوث السلوكية في إرشاد جهود التصدي لفيروس "سارس-كوف-2" SARS-CoV-2 وتحسينها، في وقت يشعر فيه الناس بالخوف والتشكك والضياع وسط طوفان من المعلومات. من هنا، هَمَّ الباحثون بالوقوف على ما نُشِرَ في ذلك المجال من أبحاث سابقة قد يكون من شأنها التأثير على وضع السياسات، ثم حددوا قائمة بالمشروعات البحثية التي يمكنهم تنفيذها على صعيد قضايا مثل المنظور الجماهيري لتهديدات الجائحة، واتخاذ القرارات لمواجهة هذه الأزمة وتوصيل العلوم[2].

وقد تطلَّع كثير من الباحثين لأن يكون لأبحاثهم دور في فهم استجابة الجماهير لممارساتٍ مثل تدابير الإغلاق أو فرض ارتداء الكمامات. على سبيل المثال، بَيَّنَ فان بافيل وفريقه البحثي من خلال استطلاع رأي أجروه، وشارك فيه أكثر من 46 ألف شخص، أن معظم الدول التي أظهر سكانها دعمًا أكبر للتدابير الاحترازية كانت تذكي مشاعر الوحدة الوطنية والتماسك الاجتماعي. ويصف فان بافيل هذا المناخ قائلًا: "إنه شعور بأننا جميعًا نخوض التجربة نفسها". وقد جاءت تلك النتيجة مخالفة إلى حد ما للتوقعات البديهية. فعلى الرغم من أن الدراسة أشارت إلى وجود ارتباط بين اعتناق المشاركين في الاستطلاع لفكر سياسي يميني وميلهم لمقاومة تدابير الصحة العامة، فإنها أظهرت، بوجه عام أيضًا، أن قوة التمسك بالهوية الوطنية كانت عاملًا ينبئ بدعم أكبر لمثل تلك التدابير. ويقول فان بافيل إن هذا يشير إلى إمكانية الاستفادة من مشاعر الهوية الوطنية في الترويج لسياسات الصحة العامة.

كما أظهرت أبحاث أخرى أن اختيار الشخص المسؤول عن بَثِّ رسائل الصحة العامة يُعد عاملًا مهمًا للغاية. وكان من بين تلك الأبحاث، دراسة[3] نُشِرَت في شهر فبراير الماضي، أجرت استطلاع رأي لأكثر من 12 ألف شخص يقيمون في ست دول – هي البرازيل وإيطاليا وكوريا الجنوبية وإسبانيا وسويسرا والولايات المتحدة – بهدف تحديد مدى استعدادهم لنشر رسالة تُشَجِّعُ على التباعد الاجتماعي. وقد أُتيح للمشاركين اختيار شخص لدعم الرسالة، من بين الممثل الأمريكي توم هانكس، ونجمة المجتمع الشهيرة كيم كارداشيان، ومسؤول حكومي بارز من بلد المشاركين في الاستطلاع، وأنتوني فاوتشي، مدير المعهد الوطني الأمريكي لأمراض الحساسية والأمراض المعدية الكائن في بيثيسدا بولاية ميريلاند. فكانت النتيجة أن المشاركين في الاستطلاع من جميع البلدان كانوا أكثر استعدادًا لنشر الرسالة عندما صدرت عن فاوتشي (وذلك على الرغم من أن فاوتشي قد أصبح شخصية مثيرة للجدل بالنسبة للبعض في الولايات المتحدة، حيث خضعت الجائحة لقدر كبير من التسييس). وبالمقارنة، وُجِد أن دعم المشاهير للرسالة غير فعال نسبيًا. وتشير الأبحاث الأولية إلى أن مواءمة الرسالة بحيث تتفق



> **لدينا الآن كم أكبر بكثير من البيانات التي يمكننا من خلالها قياس الآليات الاجتماعية".**

مع قيم الجمهور، أو التأكيد على قبولها اجتماعيًا، قد يلعبان كذلك دورًا مؤثرًا. على سبيل المثال، تعمل ميشيل جيلفاند، عَالِمة النفْس من جامعة ميريلاند في كوليدج بارك، ضمن فريق بحثي يشرف على "منافسة بين سُبل التدخل" بهدف اكتشاف أساليب للترويج لارتداء الكمامات بين المحافظين والليبراليين في الولايات المتحدة.

ويختبر الباحثون في تجربتهم فعالية ثمانية من سُبل التدخل، أو "الحوافز" كما يسمونها، وهي سُبل تعكس مجموعة من القيم الأخلاقية المختلفة، فضلًا عن عوامل أخرى ترتبط بأزمة "كوفيد-19". وتهدف التجربة إلى تحديد سُبل التدخل الأكثر فعالية في تحفيز المنتمين لكلا الفئتين السياسيتين على الالتزام بإرشادات الصحة العامة. فتؤكد واحدة من الرسائل التي يختبر الباحثون فعاليتها على أن ارتداء الكمامات سوف "يساعدنا على استئناف نشاطنا الاقتصادي بسرعة أكبر"، وهو نهج مُصَمَّم لمناشدة الجمهوريين الذين ينزعون بدرجة أكبر إلى التعامل مع الجائحة على أنها أزمة اقتصادية أكثر من كونها أزمة صحية. وثمة نهج آخر للتدخل، تعزز رسالتُه مبدأ تفادي الضرر، الذي يراه الليبراليون مهمًا لهم على حد قولهم. وتؤكد رسالة هذا المبدأ على أن ارتداء الكمامات "يحافظ على سلامة الأفراد".

حول ذلك، تقول جيلفاند: "نصنع منافسة بين هذه الحوافز لنرى أيها أكثر فعالية". والتصميم الذي يتبناه فريق جيلفاند في دراسته يتيح لهم اختبار فعالية سُبل التدخل المتعددة في آن واحد، كما يمكن توظيفه على نطاق واسع يغطي العديد من المناطق الجغرافية، وهي ميزة تحولت إلى ضرورة في ظل الجائحة. وجدير بالذكر أن نتائج هذه الدراسة لم تُنشر بعد.

وكانت مساعٍ أخرى قد شرعت بالفعل في توظيف نهج مماثل بهدف التشجيع على التطعيم، وذلك حتى قبل توفُّر أي من لقاحات فيروس "سارس-كوف-2". على سبيل المثال، كانت مبادرة "التغيير السلوكي النافع" Behavior Change For Good Initiative التي انبثقت من جامعة بنسلفانيا في فيلادلفيا، تختبر فعالية حوافز مختلفة في تشجيع الجمهور على تلقي لقاح الإنفلونزا. إذ اختبرت كاثرين ميلكمان، الباحثة السلوكية من كلية وارتون بالجامعة، مع زملائها حوالي 20 استراتيجية لبَثِّ رسائل للتشجيع على تلقي هذا اللقاح، وقد شملت هذه الاستراتيجيات كل المساعي الممكنة، بداية من النكات، وصولًا إلى المناشدات المباشرة. وحول ذلك، تقول ميلكمان: "لاحظنا استراتيجيات ثبتت فعاليتها"؛ إذ اكتشف فريقها، على سبيل المثال، أن بث رسائل نصية للأفراد لإبلاغهم فيها بأن هناك لقاح إنفلونزا محجوزًا خصوصًا لهم أدى إلى زيادة معدلات التطعيم[4،5].

وعلى الفور، سارع الباحثون الذين يسعون إلى رفع معدلات تلقي لقاحات "كوفيد-19" بالاستفادة من تلك النتائج؛ إذ حاول الباحثون من جامعة كاليفورنيا بلوس أنجيليس (UCLA) استعمال الاستراتيجية نفسها مع من يتلقون العلاجات ضمن نظام الجامعة الصحي خلال شهري فبراير ومارس[6]، وتقول ميلكمان إن الباحثين وجدوا أن الاستراتيجية "أثبتت فعّاليتها في تحفيز الجماهير على التطعيم ضد "كوفيد-19".

وفي مارس الماضي، تلقت ميلكمان بريدًا إلكترونيًا من ستيف مارتن، الرئيس التنفيذي لشركة استشارات العلوم السلوكية "إنفلوينس آت ووركInfluence at Work "الكائنة بمدينة هارِبندِن بالمملكة المتحدة، يطلعها فيه على أن فريقه البحثي قد طبق ما توصلت إليه من نتائج في جزيرة جيرسي بالقناة الإنجليزية؛ حيث تبنى مارتن وزميلته ريبيكا شيرينجتون، المسؤولة المساعِدة بقطاع التمريض لدى حكومة جيرسي، رؤية ميلكمان القائلة بإن احتمالية إقبال شخص ما على تلقي اللقاح ترتفع كلما مُنح "شعورًا بامتلاكه لزمام الأمور"، وهو ما يمكن تحقيقه من خلال إخبار المرء بأن "هذا اللقاح محجوز خصوصًا له"، على سبيل المثال. فيقول مارتن: "واجهنا مشكلة حقيقية في إقناع موظفي دور الرعاية، وخاصة الشابات لأن كثيرًا منهن ساورتهن شكوك بشأن اللقاح"، لكن باستخدام مقاربة ميلكمان ومقاربات أخرى (كتلك القائلة بأهمية حسن اختيار هوية من يبث رسالة التشجيع على تلقي اللقاح)، تمكن برنامج مارتن من رفع معدل تلقي اللقاحات ليصل إلى 93% بين موظفي دور الرعاية في جيرسي، مقارنة بنسبة قوامها حوالي 80% في مقاطعات أخرى.

بحوث مكافحة الاستقطاب

تساعد تقنيات مثل التَتَبُّع الجغرافي الباحثين في مجال العلوم الاجتماعية على رصد الطريقة التي يتصرف بها الأفراد في الواقع، وليس الطريقة التي يزعمون أنهم يتصرفون بها فحسب. وقد كشفت جهود التصدي لجائحة "كوفيد-19" عن انقسام كبير بين الصفوف السياسية في الاستجابة للأزمة في العديد من الأماكن، ونظرًا إلى أن الكثير من الأفراد يملك هواتف ذكية مزودة بأجهزة تعقب تعمل بتقنية نظام تحديد المواقع العالمي (GPS)، فقد أصبح بإمكان الباحثين

تحديد إلى أي مدى ينعكس الانحياز السياسي للفرد على سلوكه خلال الجائحة.

وقد عكف فان بافيل وزملاؤه على تحليل بيانات تَتَبُّع جغرافي وردت يوميًّا من 15 مليون هاتف ذكي، وذلك بهدف النظر في العلاقات بين أنماط التصويت في الولايات المتحدة ومدى الالتزام بالتوصيات المتعلقة بالصحة العامة[7]. وتوصل الفريق إلى أن سكان المناطق التي صوتت للمرشح الجمهوري دونالد ترامب في الانتخابات الرئاسية الأمريكية لعام 2016، على سبيل المثال، كانوا أقل حرصًا على ممارسات التباعد الجسدي في الفترة بين مارس ومايو من عام 2020، وذلك بنسبة بلغت 14% مقارنة بساكني المناطق التي صوتت للمرشحة الديمقراطية هيلاري كلينتون. ووجدت الدراسة أيضًا ارتباطًا بين استهلاك الأخبار المنشورة عبر قنوات ذات تَوجه مُحافظ وضعف الحرص على ممارسات التباعد الجسدي. كما وجدت أن الاختلافات الحزبية حول الالتزام بالتباعد الجسدي تزايدت بمرور الوقت.

ويقول والتر كواتروتشوكي، عَالِم البيانات من جامعة كافوسكاري في فينيسا، بإيطاليا: إن الإمكانيات البحثية التي أتاحها التَتَبُّع الجغرافي "تفوق الخيال". ويردِف قائلًا: "لدينا الآن كمٌّ أكبر بكثير من البيانات التي يمكننا من خلالها قياس الآليات الاجتماعية"، وقد فتحت الجائحة مجالًا لتوظيف هذه البيانات.

وقد استخدم فريق كواتروتشوكي البحثي بيانات المواقع الخاصة بـ 13 مليون مستخدم على موقع "فيسبوك" بهدف دراسة أنماط تنقل الأفراد جغرافيًا في جميع أنحاء فرنسا وإيطاليا والمملكة المتحدة خلال الأشهر الأولى من الجائحة. وقد ظهرت أنماط مختلفة من التنقل في البلدان الثلاث، تعكس البنية التحتية والجغرافيا الأساسية لكل منها. وقد تمركزت التحركات في المملكة المتحدة وفرنسا أكثر حول لندن وباريس، على الترتيب، بينما تشتَّت بين المراكز السكانية الرئيسية في إيطاليا[8]. ويقول كواتروتشوكي إن هذا النوع من النتائج يمكن الاستفادة منه في التنبؤ بقدرة الاقتصاد على الصمود في مواجهة الكوارث الأخرى.

كما يتزايد اعتماد الباحثين على استطلاعات الرأي التي تُجرى عبر الإنترنت، وهو اتجاه عجلت به الجائحة. على سبيل المثال، بلغ متوسط عدد الاستجابات لأحد هذه الاستطلاعات في دراسة أمريكية[9] حول الأنشطة اليومية أثناء الجائحة - مثل الذهاب إلى العمل، أو زيارة الأسرة، أو تناول الطعام في المطاعم - أكثر من 6700 استجابة في اليوم الواحد. وأظهرت النتائج أن دور الانتماء الحزبي في التأثير على مدى إقبال الأفراد على تبني السلوكيات الآمنة كان أكبر بكثير من تأثير المعدلات المحلية للإصابة بمرض "كوفيد-19" في هذا الإقبال. وكان المشاركون الذين عرَّفوا أنفسهم على أنهم جمهوريون، أكثر إقبالًا على التنقل من الديموقراطيين بنسبة 28% تقريبًا، وأخذت هذه الفجوة في الاتساع على مدار فترة إجراء الدراسة بين شهري أبريل وسبتمبر من العام الماضي.

آثار ما بعد الإغلاق

لا شك أن الجائحة بدأت في تغيير الطرق التي يدرس بها الباحثون السلوك البشري، على نحو قد يدوم إلى ما بعد فرض تدابير الإغلاق. من هنا، يقول فان بافيل: "أعتقد أن الباحثين سيواصلون سعيهم إلى إجراء دراسات أكبر بالتعاون مع المزيد من المختبرات للوصول إلى نتائج تتسم بأنها أكثر إحكامًا، وأكثر قابلية للتطبيق على نطاق واسع". وعينات البيانات التي جُمِعت من خلال هذه المشروعات البحثية كانت أكثر تنوعًا من البيانات التي جُمعت بالأساليب التقليدية، ولذا فإن تأثير هذه الدراسات قد يكون أكثر قوة.



MAY JAMES/SOPA IMAGES/ZUMA

صورة للوحة إعلانات بلندن شجعت الأفراد على اتباع إرشادات تدابير الإغلاق لمكافحة جائحة "كوفيد-19".

وتقول ميلكمان إن أزمة "كوفيد-19" جعلت أيضًا الباحثين أكثر استعدادًا للتعاوُن ولمشاركة المعلومات. لذا، تسارعت – على حد قولها – وتيرة نشر نتائج الأبحاث وتطبيقها. وتضيف قائلة حول ذلك: "كتبتُ ورقة بحثية عن بعض النتائج التي توصلنا إليها في أسبوع خلال عطلة عيد الميلاد"، وهو ما كان عادةً يستغرق عدة أشهر. وقد عجَّلت ميلكمان بإعداد هذه المسودة البحثية لشعورها بالأهمية المُلحة لنشر تلك النتائج وإتاحتها؛ لينتفع بها الجميع.

وترى ميلكمان أن القيود التي فرضتها جائحة "كوفيد-19" دفعت العلوم الاجتماعية في اتجاه جيد، فتقول: "علينا إجراء بحوث واسعة النطاق"، كما يجري في مجالات مثل الفيزياء والفلك. وتشير إلى أنه بدلًا من إجراء تجارب فردية صغيرة، يمكن للباحثين الآن إجراء دراسات ضخمة تضم مجموعات كبيرة من الباحثين لإجراء الاختبارات على 20 أو حتى 50 مجموعة فرعية من المشاركين في آن واحد.

وتقول فاندي بروين دي برين، عالمة السلوك من جامعة جنوب كاليفورنيا في لوس أنجيليس، إن استحالة اجتماع عدد من الأشخاص في مكان مغلق للخضوع لدراسة قد حفز العلماء أيضًا على ابتكار طرق جديدة لإلحاق المشاركين بالتجارب ودراستهم. وبروين دي برين هي واحدة من الباحثين الرئيسيين في دراسة "فهم أمريكا" Understanding America Study، التي تعمل على إجراء استطلاعات رأي متكررة شاركت فيها حوالي 9000 أسرة أمريكية، تعكس النسيج الوطني للبلاد، بالإجابة عن أسئلة متعلقة بالجائحة، من قبيل "هل تنوي تلقي لقاح؟" "وفي تقديرك، ما مدى احتمالية تعرضك للإصابة؟" والحاجة إلى وضع إجراءات جديدة لإلحاق عينات كبيرة من المشاركين بالتجارب، بما يعكس النسيج الوطني، قد أتاحت لبروين دي برين وزملائها إلحاق مشاركين على نطاق أوسع. من هنا، تقول بروين دي برين: "لم يعد الباحثون مضطرين لقَصر أبحاثهم على نطاق محلي"، نظرًا إلى أن المشاركين ليسوا مضطرين للدخول إلى المختبرات، فقد صار من الأسهل إلحاق عينات أكثر تنوعًا من المشاركين بالتجارب. وتُعقب برين على ذلك قائلة: "أعتقد أن ذلك سيدفع العلوم الاجتماعية إلى الأمام".

والحلول التقنية التي شجعت على ظهورها ظروف الجائحة يمكن أن تؤدي بدورها إلى تعزيز العلوم. على سبيل المثال، يدرس ألكساندر هولكومب، عَالِم النفْس من جامعة سيدني بأستراليا، الإدراكَ البصري، الذي يصفه بأنه "مجال علمي محدود المعارف للغاية. إذ لم يُجْرِ فيه الباحثون دراسات عبر الإنترنت" قبل الجائحة. غير أن ممارسات التباعد الاجتماعي قد أرغمته هو وفريقه على تعلم القدر اللازم من علم البرمجة لتنفيذ تجاربهم بشكل فعال عبر الإنترنت. ونتيجةً لذلك، أصبح بإمكانهم الآن إلحاق مجموعات أكبر من المشاركين على حد قوله، وهو ما يُعد تحسنًا مهمًا في منهجيتهم البحثية.

أما بريان نوسيك، المدير التنفيذي لمركز العلوم المفتوحة، وهي منظمة غير ربحية في مدينة شارلوتسفيل بولاية فيرجينيا الأمريكية، فيرى أن الجائحة أتاحت فرصة لإعادة النظر في بعض أسس إجراء الأبحاث. ويقول: "منحتنا الجائحة الفرصة لنتساءل حول أساليبنا في بعض الإجراءات، والمقصود بهذه "الإجراءات" هو كل شيء، بدءًا من التدريس والبحوث المخبرية، إلى تصميم الدراسات، والتعاوُن البحثي. ويضيف نوسيك قائلًا: إن الطرق التي يتواصل بها الباحثون على المستوى الميداني ويتفاعلون بها مع الباحثين المشاركين "قد تغيرت بصورة جذرية". من هنا، يقول: "لا أتخيل أننا سنعود لما كنا عليه".

كريستي أشواندن هي صحفية علمية من سيداريدج بولاية كولورادو الأمريكية.

1. Van Bavel, J. J. *et al.* Preprint at PsyArXiv https://doi.org/10.31234/osf.io/ydt95 (2020).
2. Van Bavel, J. J. *et al. Nature Hum. Behav.* **4**, 460–471 (2020).
3. Abu-Akel, A., Spitz, A. & West, R. *PLoS ONE* **16**, e0245100 (2021).
4. Milkman, K. L. *et al.* Rotman School of Management Working Paper no. 3780267; preprint at SSRN https://doi.org/10.2139/ssrn.3780267 (2021).
5. Milkman, K. L. *et al.* Preprint at SSRN https://doi.org/10.2139/ssrn.3780356 (2021).
6. Dai, H. *et al.* Preprint at SSRN https://doi.org/10.2139/ssrn.3817832 (2021).
7. Gollwitzer, A. *et al. Nature Hum. Behav.* **4**, 1186–1197 (2020).
8. Galeazzi, A. *et al.* Preprint at https://arxiv.org/abs/2005.06341 (2020).
9. Clinton, J., Cohen, J., Lapinski, J. & Trussler, M. *Sci. Adv.* **7**, eabd7204 (2021).



KIM RAFF FOR *NATURE*

إيفي لويس مع والديها إليوت وجانيل. تتلقى إيفي جرعة من العلاج الجيني كل بضعة أشهر لعلاج الضمور العضلي نخاعيّ المنشأ.

علاجات جينية لأمراض دماغية

تنعقد آمال عريضة على فئة من العقاقير التي يمكنها أن تعالج حالات التنكس العصبي، لكن تجربة إكلينيكية حديثة عرقلت الجهود الماضية في ذلك الطريق. **بقلم ديانا كوون**

كانت سوزان لا تزال طفلة عندما اشتبهت للمرة الأولى في مرض والدتها. ففي كثير من الأحيان، كانت الأم عندما تقدم طعام العشاء، أو تغسل الأطباق، يسقط من بين يديها كوب، أو طبق، عن غير قصد، ويتحطم على الأرض. وحول ذلك، تقول سوزان: "كان من الممكن أن تصف أمي نفسها بأنها "خرقاء"، لكنها في الحقيقة لم تكن كذلك. كانت يداها تتحركان على نحو بديع وساحر، وأُدْرِك الآن أنه كان عَرَضًا مبكرًا للإصابة بمرض هنتنجتون".

يمكن تعريف مرض هنتنجتون (HD) على أنه حالة وراثية تؤدي إلى تدهور واسع النطاق في وظائف الدماغ، وشل القدرة على التفكير، واضطراب السلوك والشعور والحركة. وهو يبدأ عادةً في منتصف العمر، بتغيرات طفيفة، مثل تقلبات المزاج، وصعوبة التركيز. ومع تقدم المرض، يُصاب المريض بالخَرَف، وعدم القدرة على الكلام أو الحركة.

طلبت سوزان عدم ذكر اسم عائلتها، حمايةً لخصوصيتها، وهي تذكر بوضوح ذلك اليوم الذي علمت فيه بإصابة والدتها بذلك المرض. حدث ذلك في ربيع عام 1982. حينئذ، كانت الأم قد أُودِعت أحد المستشفيات، نتيجة إصابتها بحالة من الإجهاد الشديد، وتكرُّر سقوطها إلى الأرض، واضطراب حركاتها. ولم يكن ثمة اختبار وراثي يمكن إجراؤه للكشف عن هذا المرض آنذاك. لذا، خضعت الأم لسلسلة من التقييمات، ثم جَمَع طبيب الأعصاب المعالِج لها أفراد أسرتها بالكامل في غرفة، لكي ينبئهم بالخبر. وتستحضر سوزان تلك التجربة قائلة: "أخبرنا الطبيب أن والدتنا مصابة بمرض هنتنجتون، وأنه مرض عُضال، ويمكن القضاء عليه تمامًا في جيل واحد فقط، إذا امتنعنا عن إنجاب أطفال".

كان لتلك الكلمات التي خلت من كل تنميق وَقْع عميق في حياة سوزان، وأشقائها. وعلى سبيل المثال، قرر أخوها ألا يتزوج أبدًا، واختارت أختها أن تلجأ إلى التعقيم، لكيلا تنجب أطفالًا، لكنّ تلك الخيارات كانت غير متاحة لسوزان آنذاك؛ فقد كانت حبلى عندما تلقّت ذلك الخبر.

وتقول سوزان إنها وزوجها "لم يتمكنا من اتخاذ قرار بشأن التصرف الأمثل الذي ينبغي القيام به" في حالتهما. ومن بين ما خطر ببالهما تحديدًا أنهما "إذا أنجبنا ذلك الطفل، فسوف يتحتم عليه اتخاذ القرار نفسه عندما يكبر"، وتضيف قائلة: "بدا لنا هذا مؤلمًا للغاية". وفي النهاية، اتخذ الزوجان قرارًا مؤلمًا بإسقاط الجنين.

يُسمَّى الجين الذي يسهم في الإصابة بمرض هنتنجتون "*HTT*"، وهو يُرمِّز بروتينًا يُسمى هنتنجتِن. وفي النسخة المعيبة من هذا الجين، يتكرر لمرات عديدة جزء قصير من تسلسله، يُعرف بمجموعة السيتوزين والأدينين والجوانين. وعلى عكس بعض الحالات الوراثية، التي لا ينشأ فيها المرض إلا عندما يكون لدى الشخص نسختان معيبتان من جين معين، فإن نسخة واحدة فقط من الطفرة في جين "*HTT*" تكفي للتسبب في الإصابة بمرض هنتنجتون، واحتمالية انتقال المرض من الأشخاص الحاملين للطفرة إلى أطفالهم تبلغ نسبة قدرها 50%. وعلى سبيل المثال، بعد سنوات من وفاة والدة سوزان، اكتشف الأشقاء الثلاثة أنهم جميعًا قد ورثوا المرض.

ولا توجد علاجات متاحة لكبح تطور مرض هنتنجتون أو إبطائه، على الرغم من أن الأسباب الوراثية الكامنة خلف المرض قد اتضحت منذ عام 1993. كذلك لا توجد علاجات فعالة لمعظم الأمراض التنكسية العصبية الأخرى. ومع أن الأسباب الجينية لهذه الأمراض أقل وضوحًا من تلك الخاصة بمرض هنتنجتون، فقد اكتُشف منذ عقود كثير من الجينات المرتبطة بأمراض معينة، مثل مرض العصبون الحركي (التصلب الجانبي الضموري، أو اختصارًا ALS)، ومرض ألزهايمر، ومرض باركنسون. أما الآن، فقد بدأ الحظ يحالف جهود علاج هذه الأنواع من الأمراض. ويراود الأمل عديدًا من الباحثين بشأن ما يُسمى بالعقاقير "قليلة النيوكليوتيدات المضادة لاتجاه النسخ"، التي تتمثل في خيوط قصيرة من حروف الحمض النووي، أو الحمض النووي الريبي، صممت بحيث تتشبث بتسلسلات معينة من الحمض النووي الريبي التي تصنعها الجينات المعيبة، وتعيد التوازن إلى مستويات البروتينات التي تنتجها تلك الجينات، وهو ما يُشار إليه بتعزيز إنتاج البروتينات المفقودة، أو القضاء على البروتينات المعيبة (انظر الشكل "تبديل البروتينات المعيبة").

وقد اعتمدت إدارة الغذاء والدواء الأمريكية (FDA) أول العقاقير قليلة النيوكليوتيدات المضادة لاتجاه النسخ (ASO) من أجل علاج مرض عصبي في عام 2016. ومنذ ذلك الحين، انبثقت فورة من الأبحاث في هذا المجال، الذي لم يعد مجرد مسرح لقليل من التجارب الإكلينيكية التي أُجريت على مدار العقدين الماضيين، بل بات يشهد في الوقت الحالي ما يقرب من عشرات التجارب، التي تتصدى لمجموعة متنوعة من الأمراض التنكسية العصبية، والقليل منها وصل إلى المراحل النهائية منه.

وقد اتسع نطاق دراسات باحثين آخرين متخصصين في تطوير العقاقير قليلة النيوكليوتيدات المضادة لاتجاه النسخ، بحيث لم يعد مقتصرًا على الأمراض التي تتحدد بطفرة مفردة، وبات يشمل كذلك حالات مرضية تنطوي على أسس جينية أكثر تعقيدًا. وهذا التطور الأخير بعث حالة من التفاؤل بشأن مستقبل هذه التقنية في نفوس كثيرين ممن يعملون في المجال. وعلى سبيل المثال، يرى دون كليفلاند، وهو عالِم أعصاب من جامعة كاليفورنيا في سان دييجو (UCSD)، ويُعَد من أوائل العلماء الذين بحثوا إمكانية استخدام هذه العقاقير لعلاج الأمراض العصبية، أن تلك فقط هي مجرد بداية، إذ "سيطرأ المزيد من التطورات الأخرى"، حسبما يقول.

لكنّ التقدم المُحرز في هذا المجال لم يجرِ دائما بسلاسة تامة. فعلى سبيل المثال، في نهاية الشهر الماضي، توقفت تجربة كبيرة من تجارب المرحلة الثالثة فجأة، لأن الباحثين وجدوا أن العقار الذي تناولته التجربة لا تفوق فوائده مخاطره لصحة المرضى. وبالإضافة إلى ذلك، لطالما حث بعض الباحثين على توخي الحذر بشأن العقاقير قليلة

النيوكليوتيدات المضادة لاتجاه النسخ، نظرًا إلى أن فعاليتها في العديد من الحالات غير معروفة، وأن طريقة إعطائها – التي تكون غالبًا عن طريق الحَقْن في العمود الفقري – تتطلب تدخلًا جراحيًّا.

وعلى الرغم من أن نتيجة تلك التجربة كانت مخيبة للآمال، يقول كريس بوشوف، وهو مدير لمشروع علمي يشرف على العلاجات الجينية في المعهد الوطني الأمريكي للاضطرابات العصبية والسكتات الدماغية في بيثيسدا بولاية ميريلاند: "لا أعتقد أن ذلك مدعاة لليأس. ولا يزال هناك ما يدفعنا إلى أن نتحلى بالتفاؤل، ونتطلع بحماس إلى ما يمكن لهذا النهج تحقيقه."

طفرة في علاجات مرض نادر

وُلد بلاكلي، وهو الطفل الأول للزوجين إليوت وجانيل لويس، في عام 2011، مُصابًا بمرض تنكس عصبي نادر ووراثي، يُعرف باسم الضمور العضلي نخاعي المنشأ (SMA). ويكون لدى المصابين بهذا المرض شكل طافِر من الجين *SMN1*، وهو جين مسؤول عن إنتاج بروتين يسمى "بروتين بقاء العصبونات الحركيّة" (المعروف اختصارًا ببروتين SMN). ويمنع نقص هذا البروتين، نتيجة لهذه الطفرة، الدماغ من التواصُل بشكل فعال مع الجسم، وهو ما يؤدي إلى ضعف العضلات وضمورها، على نحو يتفاقم بمرور الوقت. وثمة أربعة أنواع من الضمور العضلي نخاعي المنشأ، أكثرها شيوعًا هو الضمور العضلي نخاعي المنشأ من النوع الأول (SMA1)، وهو أيضًا الأكثر حدة. وتظهر عادةً الأعراض على الأشخاص الذين يعانون ذلك النوع الأول من المرض بعد الولادة بفترة وجيزة، ولا يبقى الكثير منهم على قيد الحياة بعد سن الثانية.

توصل الأطباء إلى تشخيص مرض بلاكلي وهو في عُمْر ثلاثة أشهر. وحول ذلك، يقول إليوت: "لقد حطمتنا تلك التجربة معنويًّا إلى حد كبير". وجدير بالذكر أنه آنذاك لم يكن هناك علاج متوفر للمرض، ومن ثَمَّ تُوفي بلاكلي في عمر 21 شهرًا.

في ربيع عام 2017، أنجب الزوجان ابنة أخرى، أطلقا عليها اسم "إيفي". كانت أيضًا مصابة بضمور عضلي نخاعي المنشأ، لكنها كانت أكثر حظًّا من شقيقها الراحل، فقبل بضعة أشهر من ولادتها، اعتمدت إدارة الغذاء والدواء الأمريكية عقارًا يُسمَّى "نوسينيرسين" nusinersen، وهو العلاج الأول على الإطلاق المُعدِّل لمسار مرض الضمور العضلي نخاعي المنشأ. وقد تلقت إيفي الجرعة الأولى منه عندما كان عمرها اثني عشر يومًا فقط.

فَطِن[1] العلماء للمرة الأولى إلى قدرة العقاقير قليلة النيوكليوتيدات المضادة لاتجاه النسخ على استهداف الحمض النووي الريبي في عام 1978، لكن البرهنة على إمكاناتها الإكلينيكية استغرقت عدة عقود. فمنذ وقت مبكر، عرقلت بعض المشكلات، مثل السُّمِّيَّة، وضعف المفعول، تطوير هذه الأدوية. وبالتالي، فقدت شركات أدوية عديدة اهتمامها بإنتاجها، بيد أن الباحثين في إحدى الشركات، وهي شركة "أيونيس" للمستحضرات الدوائية (المُسمَّاة في الأصل إيزيس للمستحضرات الدوائية)، التي يقع مقرها في كارلسباد بولاية كاليفورنيا، أدخلوا تعديلات رئيسة على الأساس الكيميائي لهذه العقاقير، مما عزز قوة مفعولها واستقرارها، وأتاح لها الفرصة للوصول إلى المناطق التي تستهدفها في الجسم، دون أن تتعرض للتحلل.

بدأ العمل البحثي الذي أثمر عن دواء "نوسينيرسين" قرب عام 2000 في مختبر كولد سبرينج هاربور في نيويورك، حيث كان اختصاصي الكيمياء الحيوية والوراثة الجزيئية أدريان كرينر يبحث في الآليات التي تجعل الجين *SMN2*، وهو جين آخر يُرمِّز بروتين SMN، يُنتج في العموم بروتينًا أقل قدرة على البقاء من نظيره *SMN1*. واستنتج باحثو المختبر أنهم إذا تمكنوا من أن يجعلوا الجين *SMN2* ينتج مزيدًا من البروتين SMN، فإن ذلك قد يعوض عن نقص الجين *SMN1* لدى الأشخاص الذين يعانون طفرة في ذلك الجين. كما أدركوا من خلال أعمال باحثين آخرين أن سبب هذا الخلل في الجين *SMN2*، لدى جميع المصابين تقريبًا بهذا المرض، كان حدوث خطأ في أثناء عملية التضفير الجيني، وهي عملية يتم خلالها قص شرائط الحمض النووي الريبي، ومعالجتها لتتحول إلى تعليمات لصنع البروتينات. ويؤدي ذلك الخطأ إلى تفويت جزء من الشفرة الجينية الخاصة بالجين *SMN2*.

تبديل البروتينات المعيبة

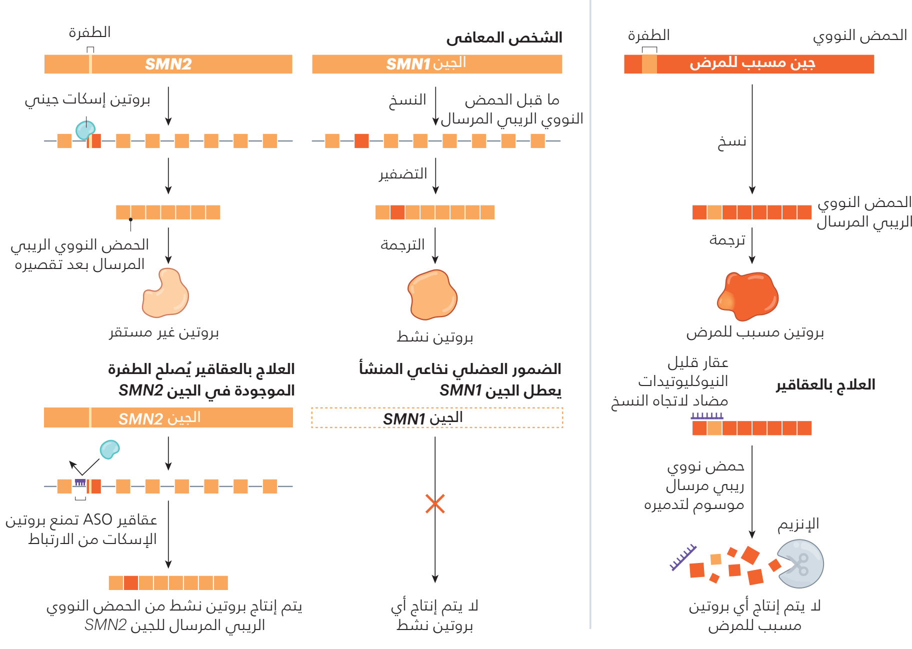
تستخدم فئة ناشئة من العقاقير، تسمى العقاقير قليلة النيوكليوتيدات المضادة لاتجاه النسخ (ASO)، قطعًا صغيرة من الحمض النووي، أو الحمض النووي الريبي المرسل، تجري مطابقتها مع بروتينات مسببة لبعض الأمراض، لتثبيط تلك البروتينات، أو تصحيحها.

الإسكات الجيني

تحدث أمراض معينة، مثل مرض هنتنجتون، ومرض العصبون الحركي (التصلب الجانبي الضموري) بسبب تراكم البروتينات الطافرة. وتهدف العقاقير قليلة النيوكليوتيدات المضادة لاتجاه النسخ التي تخضع للتطوير حاليًّا إلى تثبيط إنتاج تلك البروتينات.

التعزيز الجيني

يمكن أن تحل العقاقير قليلة النيوكليوتيدات المضادة لاتجاه النسخ محل البروتينات المفقودة. ويعالج العقار المعروف باسم "نوسينيرسين" منها الضمور العضلي نخاعي المنشأ (SMA)، الذي يفتقر فيه الجسم إلى بروتين يُسمَّى SMN. وهناك نوعان من الجينات ينتجان البروتين SMN. فلدى الأشخاص الأصحاء، يصنع الجين SMN1 بروتينًا مستقرًا، بينما يصنع الجين SMN2 نسخة غير مستقرة من البروتين. ولدى الأشخاص المصابين بضمور عضلي نخاعي المنشأ، يتعطل الجين SMN1. ويعوض عقار "نوسينيرسين" ذلك الخلل من خلال التأثير على الجين SMN2، لإضفاء استقرار على البروتين الذي ينتجه، و يكون غير نشط في حالته الطبيعية.



ركز فريق كرينر على دراسة البروتينات التي ترتبط بشريط الحمض النووي الريبي، وتؤدي إلى تفويت ذلك الجزء، أملًا في أن ينجحوا في منعها من التدخل في عملية إنتاج بروتينات SMN كاملة. وفي عام 2004، بدأ كرينر في التعاون مع فرانك بينيت، وهو اختصاصي في علم الصيدلة، وأحد الأعضاء المؤسسين لشركة "أيونيس" للمستحضرات الدوائية.

وحدد الباحثان معًا بدقة عقارًا قليل النيوكليوتيدات مضادًا لاتجاه النسخ، يمكنه أن يرتبط بالشريط، وأن يخفي ذلك الجزء عن البروتينات التي قد تؤدي إلى إسكات التعبير عنه، وهو ما يتيح إنتاج بروتين SMN[2] فعّال.

أُدرج ذلك المركّب (نوسينيرسين) في التجارب الإكلينيكية في عام 2011. وكانت النتائج واعدة ومبشرة بصورة كبيرة إلى حد أن تجارب المرحلة الثالثة التي أُجريت على الرضع المصابين بالضمور العضلي نخاعي المنشأ قد انتهت في وقت مبكر عن موعدها، إذ كان المرضى الذين تلقوا جرعات الدواء أقدر على تحقيق أهدافهم الحركية، والبقاء على قيد الحياة من نظرائهم ممن تلقوا عقارًا وهميًّا[3].

وحتى الآن، تلقى أكثر من 10 آلاف شخص في شتى أنحاء العالم عقار نوسينيرسين (سبينرازا)، الذي منحت شركة "أيونيس" ترخيصه في عام 2016 لشركة إنتاج الأدوية المعروفة باسم "بيوجين" Biogen، والتي يقع مقرها في كامبريدج بولاية ماساتشوستس. وقد نجح العقار في تغيير مسار تطور مرض الضمور العضلي نخاعي المنشأ بشكل جذري، فلم يعد الرضع المصابون بالمرض الذين يتلقون العقار بعد ولادتهم بفترة قصيرة يموتون خلال السنوات الأولى من أعمارهم. وعلى حد قول راسل باترفيلد، وهو طبيب أعصاب أطفال من جامعة يوتاه في سولت ليك سيتي (تلقى مدفوعات مالية من شركة "بيوجين"، مقابل خدماته الاستشارية)، لم تعد "المناقشات [التي يجريها الأطباء مع الآباء] حاليًّا تنتهي ببساطة بعبارة "سنبذُل قصارى جهدنا، لكن طفلكما لن يتمكن من البقاء على قيد الحياة". وعوضًا عن ذلك، صارت تلك النقاشات تأخذ الصيغة التالية: "لدينا عقار جديد مذهل للغاية. ونحن بحاجة إلى إعطائه لطفلكما في أقرب وقت ممكن".

وتتلقى إيفي لويس، التي تبلغ من العمر الآن أربع سنوات، جرعة من عقار "سبينرازا" عن طريق البَزْل القَطَنِيّ كل بضعة أشهر، وقد حصلت مؤخرًا على الجرعة الخامسة عشرة. وعلى الرغم من أن الطفلة لا تزال تواجه بعض المشكلات، مثل الاضطرار إلى تناوُل الطعام من خلال أنبوب تغذية، فإنها قادرة على المشي، والجري، والتسلق، وهو ما لم يستطع بلاكلي أن يفعله قط، كما يقول والدها إليوت.

سلسلة حافلة بالأحداث

بعد نجاح عقار "نوسينيرسين"، بدأ الباحثون في علاج أمراض أخرى مرتبطة بطفرات جينية واضحة المعالم، مثل

مرض هنتنجتون. وأدى ذلك إلى ابتكار عقار "تومينيرسين" tominersen، الذي طورته شركة "أيونيس"، وحصلت شركة "روش" Roche للأدوية - التي يقع مقرها في بازل بسويسرا - على ترخيص بإخضاعه للتجارب الإكلينيكية. ويُعتقَد أن طريقة عمل ذلك العقار تقوم على استهداف تكرارات مجموعة السيتوزين، والأدينين، والجوانين على شريط الحمض النووي الريبي التي تنتجها جينات *HTT* السوية والمعيبة على حد سواء، ووسم تلك التكرارات من أجل تدميرها من خلال إنزيم يُسمَّى "RNase H1". وقد كشفت نتائج نُشرت في عام 2019، خاصة بتجربة إكلينيكية في المرحلتين الأولى والثانية، أن عقار "تومينيرسين" قد أسهم في خفض تركيزات النسخة الطافرة من بروتين "هنتنجتن" في السائل الدماغي الشوكي، دون أن يسفر ذلك عن أية آثار جانبية خطيرة[4].

وقد جذب النجاح المبكر الذي أحرزته تلك التجربة انتباه الباحثين في أمراض التنكس العصبي، لأن تشابك البروتينات سمة أساسية في كثير من تلك الاضطرابات. وعلى سبيل المثال، تقول سارة التبريزي، وهي طبيبة أعصاب في كلية لندن الجامعية، قادت المرحلتين الأولى والثانية من تجربة عقار تومينيرسين: "أثار هذا الكثير من الحماس، لأنه في الحقيقة فتح الباب أمام إجراء تجارب على العقاقير المضادة لاتجاه النسخ لعلاج أمراض تنكسية عصبية أخرى، يكون لتراكم البروتين الطافر السام دور في حدوثها".

غير أن إعلانًا مفاجئًا صدر في نهاية شهر مارس الماضي وَجَّهَ ضربة كبيرة للمرضى المصابين بداء هنتنجتون. فقد أُنهيت المرحلة الثالثة من تجربة تُجرى على عقار "تومينيرسين"، وشملت 791 مشاركًا من 18 دولة في وقت مبكر، بناءً على نصيحة لجنة مستقلة تضم في عضويتها عددًا من الخبراء الذين أجروا مراجعة مُقرَّرة لبيانات التجربة. وذكر بيان صادر عن شركة "روش" أنه لم تظهر مخاوف جديدة تتعلق بأمان العقار، لكن وُجد أن الفوائد المحتملة له لا تفوق المخاطر الناتجة عنه. وإلى حين نشر مزيد من التفاصيل عن التجربة، لا يمكن تحديد ماهية المشكلة التي تَسبَّب فيها العقار، على حد قول التبريزي.

ولا تزال الأدوية التي تعمل بطريقة مشابهة لعقار "تومينيرسين" تُستخدَم في علاج اضطرابات أخرى ذات أسباب مماثلة. وعلى سبيل المثال، تَنتُج بعض حالات التصلب الجانبي الضموري عن كم كبير من بروتين طافر، كما أن حفنة من العقاقير قليلة النيوكليوتيدات المضادة لاتجاه النسخ، والمُستخدَمة لعلاج بعض صور هذا المرض لا تزال في طور التجارب الإكلينيكية. ولعل العقار الأكثر إحرازًا لتقدُّم على طريق تطويره من بين هذه العقاقير هو عقار "توفيريسين" tofersen، الذي طورته شركة "أيونيس" لعلاج شكل وراثي من التصلب الجانبي الضموري. ويخضع هذا العقار حاليًّا للاختبار في المرحلة الثالثة من تجربة تجري برعاية شركة "بيوجين".

وتقول كلوديا تيستا، وهي طبيبة أعصاب من جامعة فرجينيا كومنولث في مدينة ريتشموند الأمريكية، إنه مقارنةً بتعزيز إنتاج بروتين مفقود، وهو ما يفعله عقار "نوسينيرسين"، فثمة تحديات فريدة من نوعها تتأتى لدى خفض مستويات بروتين طافر، وهو المفعول الذي يحققه عقارا "تومينيرسين"، و"توفيريسين". وفي الواقع، تعمل استراتيجيات عديدة لخفض البروتينات الطافرة على تقليل مستويات كل من النسخ السليمة والمعيبة من هذه البروتينات. ولا يزال العلماء يجهلون الآثار طويلة المدى لتلك العملية على الأمراض المعنية. وليس من الواضح ما إذا كانت هذه هي المشكلة التي وقعت في المرحلة الثالثة من تجربة عقار "تومينيرسين". أما عقار علاج الضمور العضلي نخاعي المنشأ، فهو يحدث مفعولًا مغايرًا تمامًا، و"لذا" لا يمكن أن يخدم في التنبؤ بفعالية علاج الأمراض الأخرى، وهذه حقيقة مؤلمة"، كما تقول تيستا.

ولتجنب هذه المشكلة، تستهدف بعض العقاقير قليلة النيوكليوتيدات المضادة لاتجاه النسخ البروتينات الطافرة بشكل مباشر. وعلى سبيل المثال، تختبر حاليًّا شركة "ويف لايف ساينسيز" Wave Life Sciences للتقنيات الحيوية، التي يقع مقرها في كامبريدج بولاية ماساتشوستس، استراتيجية تستهدف الطفرات الصغيرة التي تحدث أحيانًا جنبًا إلى جنب مع تكرارات مجموعة السيتوزين، والأدينين، والجوانين على النسخة الطافرة من الجين *HTT*. ويتمثل الهدف من ذلك في إبقاء معدلات بروتين هنتنجتين السليم ، دون تغيير نسبيًّا، إلا أن مفعول العقار قد يظهر فقط لدى مجموعة فرعية من الأشخاص المصابين بمرض هنتنجتون ممن يحملون تلك الطفرات. وفضلًا عن ذلك، لا يمكن اكتشاف حدوث ذلك الاختلاف، إلا من خلال طريقة مضنية لتعيين لتسلسل الجيني، لا تُجرى في المعتاد في العيادات، على حد قول تيستا (التي تلقّت أتعابًا مالية من شركة "ويف لايف ساينسيز" مقابل خدماتها الاستشارية).



أنا على يقين من أننا فتحنا للتو بابًا واحدًا من العلاجات المحتملة."

وفي الآونة الأخيرة، شرع الباحثون في اختبار قدرة العلاجات القائمة على العقاقير قليلة النيوكليوتيدات المضادة لاتجاه النسخ في حالات أكثر شيوعًا من التنكس العصبي، مثل مرض باركنسون، ومرض ألزهايمر. وجدير بالذكر أن الغالبية العظمى من هذه الحالات لا ترتبط بطفرة جينية محددة. كما تتميز هذه الاضطرابات بأنها أكثر انتشارًا من الأمراض الوراثية. ويهدف علاج مرض ألزهايمر بالعقاقير قليلة النيوكليوتيدات المضادة لاتجاه النسخ إلى خفض مستويات البروتين "تاو" tau، الذي يتراكم في شكل تشابكات سامة في الدماغ. أما فيما يخص مرض باركنسون، فيستهدف العلاج خفْض مستويات بروتين "ألفا-سينوكلين"α-synuclein ، الذي يتجمع في شكل تكتلات مرضية تُعرف باسم "أجسام ليوي".

ومن المُرجَّح أن تُسهم شبكةٌ تضم جينات عديدة في الإصابة بمثل هذه الأمراض التنكسية العصبية، ووفقًا لما قاله كيفين تالبوت، وهو طبيب أعصاب من جامعة أكسفورد بالمملكة المتحدة، من المزمع أن يشارك في تجربة وشيكة على عقار قليل النيوكليوتيدات مضاد لاتجاه النسخ من أجل علاج التصلب الجانبي الضموري. ويقول كذلك إنه ليس واضحًا كيفية تأثير تغيير في جين واحد داخل تلك الشبكة على بقية الجينات. (وقد عمل تالبوت سابقًا في المجالس الاستشارية العلمية لشركتَي "روش"، و"بيوجين").

وثمة مشكلة أخرى، حسبما يقول تالبوت، تتمثل في أن تلك العقاقير يجب حاليًّا إعطاؤها باستخدام عمليات بَزْل قَطَنِيّ متكررة، للوصول إلى أهدافها في الجهاز العصبي المركزي. وقبل استخدام العقاقير قليلة النيوكليوتيدات المضادة لاتجاه النسخ في علاج مجموعة أكبر من الأمراض، سوف يكون من المهم إيجاد وسيلة لتمكين تلك العقاقير من تجاوُز الحاجز الدموي الدماغي، حتى يمكنها الوصول إلى أهدافها بطرق تتطلب إجراءات باضعة أقل، على حد قول تالبوت، الذي يضيف قائلًا: "ثمة قائمة كاملة بإجراءات ينبغي القيام بها، قبل أن نحتفل بالنصر".

تغيير هوية الخلايا

تشير الدراسات التي أجريت على الفئران إلى أن العقاقير قليلة النيوكليوتيدات المضادة لاتجاه النسخ يمكن أن تكون لها منافع أكبر في الدماغ مستقبلًا، وبالتحديد في مجال تعويض فقدان الخلايا العصبية.

وعلى سبيل المثال، في العام الماضي، أوضح شيانج-دونج فو، وهو متخصص في بيولوجيا الخلايا من جامعة كاليفورنيا، وزملاؤه أنه من الممكن استخدام العقاقير قليلة النيوكليوتيدات المضادة لاتجاه النسخ في تحويل خلايا الدماغ غير العصبية المُسمَّاة بالخلايا النجمية إلى خلايا عصبية[5]، إذ قام الفريق بحقْن أحد هذه العقاقير في منطقة محددة بأدمغة الفئران، فُقدت منها الخلايا العصبية من جرّاء الإصابة بمرض باركنسون. وبمجرد وصول العقار إلى تلك المنطقة، نجح في تنشيط شبكة من الجينات التي تُحفِّز تحوُّل الخلايا النجمية إلى خلايا عصبية. كما وجد الفريق أنّ الذي تلقَّى العلاجَ من نماذج الفئران المصابة بمرض باركنسون أظهر تحسنًا في سلوكيات معينة.

وكان كليفلاند، الذي شارك في تجربة فو، يستخدم عقارًا قليل النيوكليوتيدات، مضادًا لاتجاه النسخ، قدمته شركة "أيونيس" لاختبار صحة هذه الفكرة في مناطق أخرى من الدماغ. وحول ذلك، يقول: "هذا حقًّا هو المجال الذي أعتزم أن أستثمر فيه ما تبقى لي من عمر في هذه المهنة. وأنا على يقين من أننا فتحنا للتو بابًا واحدًا من العلاجات المحتملة."

ولا تزال العقاقير قليلة النيوكليوتيدات المضادة لاتجاه النسخ، التي تقوم بتحويل الخلايا النجمية إلى خلايا عصبية، في مرحلة مبكرة من رحلة تطويرها. وينبه فو إلى أنه قبل نقل هذه التقنية إلى العيادات، ينبغي اختبارها على الرئيسيات من غير البشر، لأن أدمغتها أقرب إلى أدمغتنا، من أدمغة الفئران.

وفي الوقت الحالي، ينتظر الباحثون بصبر فارغ النتائج التي سوف تسفر عنها تجارب المرحلة الثالثة لاختبار فعالية عقار "توفيريسين" في علاج مرض التصلب الجانبي الضموري، كما يترقبون الحصول على مزيد من المعلومات بشأن الأسباب الحقيقية وراء إيقاف تجربة" تومينيريسين" الخاصة بمرض هنتنجتون.

وقد شاركت سوزان، وهي ممرضة متقاعدة في منتصف الستينات من عمرها، في التجربة التي أجريت على عقار "تومينريسين" منذ المرحلة الأولى منها. وقد ذكرت أن نبأ إيقاف التجربة أصابها بخيبة أمل، لكنها في الوقت ذاته تشعر بالامتنان بسبب الرعاية التي تلقّتها وقت مشاركتها في التجربة، إذ تقول: "كنت محظوظة للغاية لمشاركتي في هذه التجربة منذ اليوم الأول. والآن، الأمر رهن الصبر وجهود المراجعة، ولا يوجد بديل سواهما، أليس كذلك؟ "

ديانا كوون صحفية علمية مستقلة تقيم في برلين.

1. Stephenson, M. L. & Zamecnik, P. C. *Proc. Natl Acad. Sci. USA* **75**, 285–288 (1978).
2. Hua, Y., Vickers, T. A., Okunola, H. L., Bennett, F. & Krainer, A. R. *Am. J. Hum. Genet.* **82**, 834–848 (2008).
3. Finkel, R. S. *et al. N. Engl. J. Med.* **377**, 1723–1732 (2017).
4. Tabrizi, S. J. *et al. N. Engl. J. Med.* **380**, 2307–2316 (2019).
5. Qian, H. *et al. Nature* **582**, 550–556 (2020).

تعليقات



ALFREDO ZUNIGA/AFP VIA GETTY

مدرسة في موزمبيق، غمرها الفيضان بعد أن اجتاح البلادَ إعصار "إلويز" Eloise في شهر يناير الماضي. قد يُسفر تعطيل الدراسة عن تداعيات تمتدُّ لعقود، تنعكس على حياة المواطنين، وأحوالهم المعيشية، والنظم الاقتصادية.

فيضانات وحرائق وأعاصير: التأثيرات المتسلسلة للظواهر المناخية المتطرفة.. وانعكاساتها على أهداف التنمية المستدامة

ماركوس رايخشتاين، وفيلِكس رايدي، ودوروثيا فرانك

بدون نماذج جديدة، ومقاييس فعّالة، وضخ مزيدٍ من الاستثمارات، قد تؤدي الظواهر المناخية المتطرفة إلى خروج أهداف التنمية المستدامة عن مسارها.

لم يعُد خافيًا أن التغير المناخي يقف وراء الظواهر المناخية المتطرفة، ويشتدُّ تطرُّفها يومًا بعد يوم: من العواصف وموجات الجفاف، إلى الفيضانات والأعاصير. ومع تسارُع وتيرة الاحتباس الحراري على ظهر كوكبنا، تتزايد احتمالات وقوع هذه الظواهر، التي تمتدُّ تأثيراتها عبر أنظمة بيئية واجتماعية عدَّة؛ فموجة حارة واحدة، مثلًا، كفيلة بإشعال حرائق الغابات، التي يترتب عليها تلوث الهواء، الذي يتسبَّب بدوره في إحداث أضرار جسيمة بالصحة العامة. كما أن تدمير المحاصيل بفعل الجفاف ربما ينتج عنه تذبذُب في أسعار الغذاء، وهو ما قد يُؤجِّج الاضطرابات الاجتماعية، أو يزيد من معدلات الهجرة.

ومع ذلك، فالملاحَظ أن غالبية الدول لا تكاد تلتفت إلى هذه التأثيرات المتسلسلة (التي يُطلَق عليها أحيانًا "تأثيرات الدومينو" domino effects) لدى وضع استراتيجياتها الرامية إلى الوفاء بأهداف الأمم المتحدة للتنمية المستدامة (SDG) بحلول عام 2030.

في عام 2015، حدَّدت منظمة الأمم المتحدة 17 هدفًا لجهود التنمية المستدامة، تتراوح من "القضاء التام على الجوع" (الهدف الثاني)، إلى إتاحة "طاقة نظيفة وبأسعار معقولة" (الهدف السابع)، إلى إقامة "مدن ومجتمعات محلية مستدامة" (الهدف الحادي عشر). وكثير من البلدان التي تعمل جاهدة على تحقيق هذه الأهداف لا تُولِي تبعات

الظواهر المناخية المتطرفة ما تستحق من اهتمام. إذا نظرنا إلى ألمانيا، التي تُعَد دولة رائدة في دفع قضية المناخ على أكثر من صعيد، على سبيل المثال، لوجدنا أن استراتيجيتها للتنمية المستدامة لعام 2018، التي تقع في ستين صفحة، لم يَرِد بها ذِكر كلمة "disaster" (التي تقابلها في العربية كلمة "كارثة") سوى مرة واحدة فقط. وليس فيها من تحليل للعواقب التي قد تترتب على زيادة وقوع هذه الظواهر.

صحيحٌ أن قطاعاتٍ عريضة باتت أكثر وعيًا بما للتغير المناخي من تأثير يجعل الحرائق، والفيضانات، وموجات الحَر، والعواصف أكثر تواترًا، وأشد ضراوة، إلا أن هذا الوعي لم ينعكس بالقدر الكافي في تغيير السياسات، أو مناهج البحث العلمي. جانب من المشكلة يتمثل في طريقة النظر إلى هذه القضية؛ فالكوارث المستقبلية تبدو غير حقيقية في أعين صانعي القرار. وقد رأينا كيف افتقرت حكومات كثيرة إلى الجاهزية اللازمة لمجابهة الجائحة، رغم أن العلماء حذّروا – على مدى سنوات - من حتمية تفشّي وباء عالمي، على غرار ما رأينا في جائحة "كوفيد–19"، وأن حدوث ذلك إنما هو مسألة وقت. ومن العقبات الأخرى التي تعوق سبيل التقدُّم في هذا المضمار، الافتقار إلى الحوكمة على المستويين المحلي والدولي، فضلًا عن تحديات التواصل. وحتى الآن، لم يتوصَّل المجتمع البحثي إلى تطوير النماذج متعددة التخصصات التي يتطلّبها قياس حجم هذه الكوارث المتلاحقة.

ونتيجةً لذلك، فإن كثيرًا من المحاولات الرامية إلى تحقيق أهداف التنمية المستدامة سوف تتداعى، كما تتداعى القصور المبنية من الرمال، لدى أول هزة تتعرض لها. ولنا في الجائحة الراهنة خير مثال: انظر كيف عطَّلت التقدم على سبيل الجهود العالمية الهادفة إلى القضاء على الفقر والجوع، وتوفير تطعيمات الأطفال، والتعاطي مع ملف غياب المساواة في التعليم، ومتابعة التقدم المُحرَز في قضايا المرأة، إلى غير ذلك من القضايا والملفات. ولما كان الأمر كذلك، فيتعين أن تكون جهودنا الدولية أكثر صلابة في مواجهة مخاطر الاحتباس الحراري، وهي مخاطر متغيرة، إلا أنها متصلة بعضها ببعض.

على أنَّ الاستعداد الجيد لا يقتصر على الإمكانات المادية والهندسية، وإنما يتعداهما إلى المعرفة والقدرة على التنبؤ. ومما يدعو إلى الأسف أن الطرائق التي تتصل بها ظروف الطقس المتطرفة، ويعتمد بعضها على بعض، من بين المسببات المحتمَلة لوقوع كوارث مستقبلية. زِد على ذلك أنها من أكثر الظواهر التي لم تُدرَس بشكل ملائم، رغم أنها تمسُّ العلوم الاجتماعية والطبيعية بجميع جوانبها.

إذا كان الحال كذلك، فما العمل؟ على الباحثين أن يعملوا على تطوير نماذج يسهُل على صنَّاع السياسات فهمها، بحيث يتسنَّى لهم الانتفاع بها. كما ينبغي أن تُعاد صياغة أهداف التنمية المستدامة ومؤشراتها، كلما أمكن ذلك، على النحو الذي يكفل عدم تأثرها بموجات الحَر، وحرائق الغابات، وموجات الجفاف، والفيضانات، والتدفقات الطينية، إلى غير ذلك من ظواهر. وما أحوج الساسة إلى أن يفطنوا إلى أهمية الاستثمار في الإجراءات الاحترازية لمواجهة هذه الكوارث، والتعامُل مع تبِعاتها.

إدراك المخاطر

في مؤتمر الأمم المتحدة المعني بالبيئة والتنمية، المنعقد في عام 1992، أقرَّ الحاضرون بما للظواهر المناخية المتطرفة من تأثيرات جسيمة على التنمية. وتكرَّرَتْ الإشارة إلى هذه الحقيقة في "اتفاقية سنداي الإطارية عن الفترة 2015 – 2030"، وهي اتفاقية دولية تهدف إلى "الحد من مخاطر حدوث الكوارث على مستوى العالم، والوقاية منها".

ورغم ذلك، لم يُحرَز على هذا الصعيد سوى تقدُّم محدود. غير أن العالَم لا يخلو من النماذج الناجحة في الاستعداد لمواجهة الكوارث؛ فحواجز الفيضانات المُقامة في هولندا، ومدينة فينيسيا الإيطالية، مصمَّمة على نحوٍ يجعلها تقي تلك البقاع من أي ارتفاع مستقبلي لمستوى سطح البحر. إلا أن فكرة الفيضان الناجم عن ارتفاع مستوى سطح البحر أقرب إلى التصوُّر، وأيسَر على الفهم، من تأثيرات الظواهر المعقدة والمتراكبة، التي تتعارض في بعض الأحيان مع الافتراضات الحدسية البسيطة، وقد يتصل بعضها ببعض على نطاقات ممتدة زمانيًا ومكانيًا (انظر: المعلومات الإضافية).

ولْننظر، مثلًا، إلى الأمطار الغزيرة التي هطلَتْ في عام 2018، بعد انقضاء شهر واحد على حرائق الغابات التي اندلعت في المنحدرات الواقعة جنوبي كاليفورنيا، والتي تسبَّبَتْ في تدفقات طينية مدمِّرة. ومن الأمثلة الأخرى على تلك الظاهرة، أن يحلَّ شتاء مطير، يكثُر فيه نمو النباتات؛ وهو الأمر الذي قد يوفر بيئة خصبة لاندلاع حريق هائل، إذا ما أعقَبَ ذلك الشتاءَ صيفٌ حار وجاف، تكون له أشجار الغابات المتنامية بمثابة الوقود. كما أن إجراءات الحماية من أخطار فيضانات الأنهار تستلزم أن يُؤخَذ فيها بعين الاعتبار حسابات الجفاف وتدفُّق المياه على حدٍّ سواء؛ وذلك لأن المواد الجافة التي تنطوي عليها مصدَّات الفيضانات يمكن أن تنكمش وتتشقق، ومن ثم يختلُّ اتزانها.

> "من حسن الحظ أننا فيما يتعلق بتقييم المخاطر لسنا في حاجة إلى إعادة اختراع العجلة".

وهكذا، يظهر جليًا أن ظروف الطقس المتطرفة يمكن أن تُطلِق حلقةً جهنمية من التأثيرات السلبية، تشمل الطبيعة، والاجتماع، والاقتصاد. ولنا أن نرى في موجات الجفاف والفيضانات التي ضربت موزمبيق في أواسط العقد الأول من هذا القرن مثالًا على ذلك؛ فقد أتَتْ على البِنَى التحتية والمحاصيل في ذلك البلد، وكان لها تأثير متسلسل طال المساكن، وفُرص العمل، والتعليم، والأواصر الاجتماعية. وعلى أثره، اضطُرت أُسَرٌ كثيرة إلى بيع منازلها، أو أراضيها، أو إلحاق أطفالها بسوق العمل، في محاولة للتغلب على تبِعات تلك الكارثة التي حلَّت بذلك البلد الأفريقي. وفضلًا عن الآثار المباشرة، كانت لهذه الكارثة تداعيات بعيدة المدى، انعكسَتْ على مستوى الدخل، والرفاه العام؛ فقد تراجع معدل استهلاك الغذاء على المستوى الوطني بنسبة تزيد عن الربع، وارتفعَتْ معدلات الإصابة بالأمراض بين الأطفال في المناطق التي غمرها الفيضان إلى أربعة أضعاف المعدلات الطبيعية، كما انخفضَتْ معدلات الالتحاق بالمدارس انخفاضًا هائلًا، وزادت معدلات الفقر بمقدار 17.5 نقطة مئوية.

وعلى الرغم من ذلك، لم تلقَ هذه التداعيات - التي ألقَتْ بظلالها على أنظمة متعددة - اهتمامًا أكاديميًا مكثَّفًا إلا في السنوات القليلة الأخيرة. وأما ما لها من جوانب اجتماعية، فلم نُلِمَّ بها الإلمام الكافي حتى الآن.

نماذج معدَّلة

غالبية النماذج المعمول بها حاليًا غير قادرة على التنبؤ بتلك التعقيدات؛ ذلك أنها لا تُظهر التفاعلات التي تتمُّ فيما بين الأنشطة الزراعية، والأنظمة الإيكولوجية، وأوضاع الأُسَر المعيشية، والشركات، والمؤسسات المالية، وكذا العوامل ذات الصلة بالترابط الاجتماعي، والحوكمة. حريٌّ بهذه النماذج أن تتعرَّض صراحةً لتلك التفاعلات، وأن تضع تقديرًا كَمِّيًّا لآثارها الممتدة، وغير المباشرة.

ليس خافيًا أنَّ هذا النهج ينطوي على صعوبة بالغة، إلا أن عمليات "النمذجة المستنِدة إلى الوكيل" agent-based modelling يمكن أن تساعد كثيرًا على التغلُّب عليها. وفقًا لهذه المقاربة، توضع نماذج للتفاعلات التي تتمُّ فيما بين الوكلاء المستقلين (سواء أكانوا أفرادًا، أم مؤسسات، أم جماعات) بينما يتعاملون مع الظروف المتغيرة. والحقُّ أنَّ هذه النماذج طالما وُجِّهَ إليها نقدٌ مفاده أنها على نحوٍ من التعقيد وعدم اليقين يجعل من الصعب الخروج منها بنتائج موثوق بها. ومن جهتنا، نرى أن هذه الطريقة في سبيلها نحو بلوغ مرحلة النضج، بفضل ضخامة البيانات المتاحة، والتطورات التي طرأَتْ على تقنيات الذكاء الاصطناعي، وتعاظُم القدرة الحاسوبية.

وقد تبيَّن أن هذه النماذج تصلُح للتعامل بأثر رجعي مع الأنظمة الأبسط التي اتَّسَمَتْ بها المجتمعات الأقدم نسبيًا. ومن الأمثلة على ذلك، طريقة تعامُل أهل مدينة كاهوكيا مع موجات الجفاف المتكررة التي اجتاحَتْ الجزء الغربي الأوسط من قارة أمريكا الشمالية بين عامي 900 و1200 ميلادية. كما أظهرَت هذه النماذج قدرةً عالية على تقدير المخاطر الناشئة من الفيضانات العارمة في النمسا؛ فقد مكَّنَت الباحثين من وضع تصوُّر لتأثيرات الفيضانات على قيمة المباني والبنية التحتية، وكذلك على القدرة على الإقراض، والتمويل الحكومي – وجميعها عوامل قد تعوق مساعي إعادة الإعمار بعد الكارثة.

وبقطع النظر عن الأدوات المستخدمة، يجب أن يتجه مزيد من الباحثين إلى وضع تخطيط للأنظمة الاجتماعية المعقدة، استنادًا إلى البيانات الاقتصادية، وكذا البيانات الإحصائية المضمَّنة في التعدادات السكانية. يستلزم هذا النهج وجود بيانات متناغمة، وعلى درجةٍ عالية من الاستبانة (على مستوى دولة أو ولاية)؛ غير أن المتاح من هذه البيانات، في واقع الحال، عادةً ما يكون غير كافٍ. فمن الضرورة بمكان أن يصاحب الجهود الحثيثة المبذولة في جمع "البيانات الضخمة" big data عملٌ بحثي نوعي، ينهض به باحثو العلوم الاجتماعية (ومن بينهم علماء الأنثروبولوجيا، والاقتصاد، والآثار، والمؤرخون)، على أن تُراعَى فيه الخصوصية الثقافية، وخصوصية المكان.

يلعب علم البيانات والذكاء الاصطناعي أدوارًا متزايدة الأهمية فيما يتعلق بالاستعداد لمواجهة الكوارث، والتعامل معها، والتعافي منها. ومن ذلك، على سبيل المثال، أن تحليل صور الأقمار الصناعية، وغيرها من بيانات رصد الأرض، تُسهِم في تحديد الأماكن التي يمكن إيصال المساعدات الإنسانية إليها تحديدًا دقيقًا، وبأقصى كفاءة ممكنة، كما يدعم الذكاء الاصطناعي أنظمة الإنذار المبكر، وتقييم المخاطر. ولعلّنا نجد مثالًا على هذا التفاعل ما بين البيانات الدقيقة، والنماذج المُحكَمة، والحكم الرشيد في التعامل مع إعصار "أمفان" Amphan، الذي وقع في شهر مايو من عام 2020، وما انطوى عليه ذلك من إنذار مبكر، ورفع لدرجة التأهُّب، وإجلاء لنحو ثلاثة ملايين شخص في الهند وبنجلادش قبيل وصول الإعصار. والباب مفتوح على مصراعيه أمام مساعي تطوير تقنيات الذكاء الاصطناعي، وتسخيرها للتنبُّؤ بالمواقع المعرَّضة لمثل هذه الأخطار على المدى البعيد.

تحسين المؤشرات

بالإضافة إلى الجهود المبذولة في تطوير النماذج، ينبغي على الباحثين كذلك أن يُسهموا في إعادة صياغة مؤشرات أهداف التنمية المستدامة، على النحو الذي يعزز قدرتها

على تتبع التقدم المُحرَز على طريق تحقيق تنمية مستدامة، وتقف على أرض صلبة.

ولكي تكون المؤشرات فعّالة، يَلزَم أن تأخذ في الحسبان قابلية التأثُّر، وقابلية التغيُّر. فمن بين معايير قياس النجاح في تحقيق الهدف الثاني من أهداف التنمية المستدامة (القضاء التام على الجوع)، على سبيل المثال، مؤشر تقلبات أسعار المواد الغذائية. يبيّن هذا المؤشر مقدار الانحراف القياسي حول متوسط أسعار الحبوب، والخضراوات، وزيت الطعام، ومنتَجات الألبان، واللحوم، والسكر. ومن ثم، فإنه يأخذ بعين الاعتبار مدى ضمان توافر الغذاء، واستقراره من عام إلى آخر، وخلال العام الواحد؛ علمًا بأن هذا العامل يتأثر بالأحوال المناخية المتطرفة. تكمن أهمية القدرة على قياس التغيُّر في الوقوف على تأثيرات الندرة المؤقتة للغذاء، التي تلقي بتبعاتها على الفقراء أكثر من غيرهم، وذلك بالنظر إلى أنهم ينفقون شطرًا كبيرًا من دخلهم على الغذاء. غير أن هذا المؤشر لا يصدُر بصفةٍ دورية إلا على المستوى الوطني، وليس على المستوى الإقليمي أو المحلي، رغم ضرورة تحديد التغيُّر الحادث على هذين المستويين.

ومن الجدير بالملاحظة أن غالبية أهداف التنمية المستدامة الأخرى، ومؤشراتها، تتجاهل قابلية التأثُّر وقابلية التغيُّر تجاهلًا تامًا. وهناك معايير (مثل "نسبة المسطحات المائية الآتية من مياه محيطة ذات نوعية جيدة" و"المتوسط السنوي لمستويات الجسيمات الدقيقة") لا تقاس إلا في صورة متوسطات سنوية. وهكذا، فإن إضافة معايير لقياس قابلية التغيُّر ستكون بمثابة خطوة أولى ضرورية نحو الكشف عن النقاط المعرَّضة للخطر في هذه الأنظمة، وتتبع التغيرات التي تطرأ عليها، بينما تتسارع وتيرة الاحترار العالمي.

على مدار السنوات القليلة الماضية، حاول الباحثون رسم مخطط لشبكة التفاعلات بين أهداف التنمية المستدامة، أطلقوا عليه مخطط "ساستينوم" Sustainome (انظر الشكل 1 من المرجع 13، على سبيل المثال). إن عملًا مهمًا كهذا سوف يسهم في فهم أوجه التكامل والتعارض بين أهداف التنمية المستدامة المتعددة في الدول المختلفة. وبالتوازي مع هذه المساعي، ينبغي المزج بين مؤشرات أهداف التنمية المستدامة – وكذا مؤشرات "سِنداي" Sendai للحد من مخاطر الكوارث – للحصول على مؤشرات مركَّبة، قادرة على التنبُّؤ بالمخاطر النظامية. إننا بحاجة إلى بذل مزيد من الجهد من أجل فهم كيفية إنجاز ذلك، واستكشاف النماذج والبيانات التي قد تعيننا على بلوغ تلك الغاية.

استثمار موجَّه

إن تطوير نماذج لقياس المخاطر المتداخلة، تتَّسم بالواقعية، وتستطيع تتبُّع مواطن التأثُّر، والتعبير عن هذه المخاطر رقميًا، لهو أمر بالغ الأهمية، من شأنه أن يساعد صانعي القرار والمستثمرين على تحديد أي القنوات تستحق أن يوجهوا إليها أموالهم واهتمامهم.

انظر، مثلًا، إلى الباحثين الذين يركزون على استحداث محاصيل زراعية أعلى في قيمتها الغذائية، في محاولة للمساعدة على تحقيق هدف "القضاء التام على الجوع". إنهم يحتاجون إلى معرفة ما إذا كانت موجات الجفاف المستقبلية سوف تؤدي إلى فشل مساعي إنتاج هذه الأنواع المستحدثة، وأي هذه المحاصيل، أو توليفاتها، أو الممارسات الزراعية سوف ينعكس بالسلب على التنوع البيولوجي، واستقرار النظام الإيكولوجي، وكذا على المزارعين أصحاب الحيازات الصغيرة، الذين يقدَّر عددهم حول العالم بنحو 500 مليون، وذلك على نحوٍ يؤثر على أهداف التنمية المستدامة الأخرى. سوف تُسهم نماذج



NICK OXFORD/REUTERS

في عام 2018، تسببت حرائق الغابات في انفجار خطوط الكهرباء في ولاية أوكلاهوما. وسوف يكون لانهيار البنية التحتية، على هذا النحو، تبعات بعيدة المدى.

الأنظمة، التي تزوِّد ببيانات مستمَدة من عمليات الرصد المباشر، في تحديد أي العوامل ينبغي تعديلها، بما يعزز مرونة تلك الأنظمة، وقدرتها على الصمود.

قد يجد الساسة صعوبة في أن يبرروا للناخبين الإنفاق على إجراءات تعزيز مرونة الأنظمة الإيكولوجية؛ وذلك لأنها، في الغالب، لا تعود بمردود فوري، كما أن توقيت تلك الكوارث المستقبلية، وحجمها، يظلان في حُكم المجهول. بيد أنَّ الجائحة الراهنة تخبرنا أن الكلفة ستكون أكثر ضخامة على المدى البعيد، إذا نحن تقاعسنا عن الإنفاق الآن[14].

في تقرير صدر عام 2019، يتناول الدول ذات الدخل المنخفض والمتوسط، وُجِد أن زيادة الاستثمار بنسبة 3% عن المعدلات المعتادة في مجال البنية التحتية في ثلاثة قطاعات (هي قطاعات الطاقة، والمياه والصرف الصحي، والنقل) من شأنها أن تجعل هذه القطاعات أقدَر على الصمود في مواجهة الظروف المناخية المتطرفة. وجاء في التقرير أن كل دولار أمريكي يُستثمَر في هذه القطاعات سوف يحقق – في المدى البعيد - عائدًا يبلغ نحو الأربعة دولارات، وسوف يتعاظم ذلك العائد كلما ازداد المناخ تطرفًا[15]. ثم إن هذا التطوير للبنية التحتية سوف يحُول دون حدوث أضرار مباشرة، وما قد يترتب عليها من تعطيل للأنشطة الاقتصادية. ففي مدينة هامبورج الألمانية، على سبيل المثال، قُدِّر حجم الاستثمار في إجراءات الحماية من الفيضانات، عقب العاصفة العاتية التي ضربت المدينة عام 1962، بنحو 2.2 مليار جنيه إسترليني (2.6 مليار دولار أمريكي)؛ ما جنَّب المدينة خسائر تزيد قيمتها على عشرين مليار جنيه إسترليني منذ ذلك الحين (انظر: go.nature.com/3sx8ren).

ومن حسن الحظ أننا – فيما يتعلق بتقييم المخاطر – لسنا في حاجة إلى إعادة اختراع العجلة؛ فهو نشاط متجذر في مجال التأمين، كما هو الحال في التعامل مع أخطار الزلازل. أما التحدي الآن فيكمن في نمذجة المخاطر المتغيرة، والآثار الممتدة لظواهر الطقس المتطرفة، التي صارت محتومة في هذا العالَم الآخذ في الاحترار، بالإضافة إلى قياس تلك المخاطر، والقدرة على التعامل معها. وكلما عجَّلنا بذلك، كانت النتيجة أفضل.

ويمكنك الاطلاع على مزيد من المعلومات بشأن هذا المقال عبر هذه الصفحة: go.nature.com/3dcdcbq.

ماركوس رايخشتاين: رئيس قسم التكامل الكيميائي الحيوي الجغرافي في معهد "ماكس بلانك للكيمياء الحيوية الجيولوجية" في مدينة يِنا الألمانية. **فيلِكس رايدي:** أستاذ علم الآثار المتخصص في تغير المناخ بكلية الثقافة والمجتمع بجامعة آرهوس الدنماركية. **دوروثيا فرانك:** المنسقة العلمية لقسم التكامل الكيميائي الحيوي الجغرافي في معهد "ماكس بلانك للكيمياء الحيوية الجيولوجية" في مدينة يِنا الألمانية.

البريد الإلكتروني: mreichstein@bgc-jena.mpg.de

1. The Federal Government. *German Sustainable Development Strategy* (Federal Government, 2018).
2. Michel-Kerjan, E. *Nature* **491**, 497 (2012).
3. World Economic Forum. *Outbreak Readiness and Business Impact: Protecting Lives and Livelihoods Across the Global Economy* (WEF, 2019).
4. United Nations Development Programme. *COVID-19 and Human Development: Assessing the Crisis, Envisioning the Recovery* (UNDP, 2020).
5. World Economic Forum. *Global Risks Report 2020* (WEF, 2020).
6. Renn, O., Lucas, K., Haas, A. & Jaeger, C. *J. Risk Res.* **22**, 401–415 (2017).
7. Reichstein, M., Frank, D., Sillmann, J. & Sippel, S. in *Climate Extremes and Their Implications for Impact and Risk Assessment* (eds Sillmann, J., Sippel, S. & Russo, S.) 341–353 (Elsevier, 2020).
8. Li, Z., Ye, W., Marence, M. & Bricker, J. D. *Geosciences* **9**, 17 (2019).
9. Baez, J. E., Caruso, G. & Niu, C. *Econ. Disasters Clim. Change* **4**, 103–127 (2019).
10. Zscheischler, J. *et al. Nature Rev. Earth Environ.* **1**, 333–347 (2020).
11. d'Alpoim Guedes, J. A., Crabtree, S. A., Bocinsky, R. K. & Kohler, T. A. *Proc. Natl Acad. Sci. USA* **113**, 14483–14491 (2016).
12. Poledna, S. *et al.* Preprint at https://arxiv.org/abs/1801.09740 (2018).
13. Lusseau, D. & Mancini, F. *Nature Sustain.* **2**, 242–247 (2019).
14. Sridhar, D. *Nature Med.* **26**, 1812–1812 (2020).
15. Hallegatte, S., Rentschler, J. & Rozenberg, J. *Lifelines: The Resilient Infrastructure Opportunity. Sustainable Infrastructure Series* (World Bank, 2019).

كتب وفنون


CHARLIE MURPHY

حماس متقد: آنا بلوجايسكي وهي تتعرف على فن صناعة الزجاج ضمن سعيها لدمج الجانب العلمي النظري، والممارسة الإبداعية.

من الملاعق إلى أشباه الموصلات: ما نصنعه يشكّلنا

عالمة تستكشف بعض المعارف من خلال تطبيقات علمية في رحلة تنقلت فيها بين عشر مواد. **آنا نوفيتسكي**

عندما اختارت عالمة المواد آنا بلوجايسكي العمل في مجال توصيل العلوم، وجدت أنه كلما زادت مناقشاتها مع الآخرين حول أبحاثها، قلّت قدرتها على الإجابة عن أسئلتهم. وكانت تحيط علمًا بالتفاعلات الجزيئية التي تعطي المواد قوتها، أو مرونتها، أو صلابتها، لكنها عجزت عن الإجابة عن أسئلة أصدقائها وعائلتها حول البديل الأمثل للبلاستيك، أو لِم تُصنع شاشات الهواتف من الزجاج، رغم كونها عرضة للتحطم. ولعلاج تلك الثغرات في معرفتها للمواد، قررت أن تحظى بتدريب عملي، حيث سعت إلى استكشاف كيف يتفاعل الحرفيون مع المواد التي تقتصر معرفتها بها على الجانب النظري.

وفي كتاب «صناعة يدوية» *Handmade*، تستكشف بلوجايسكي عشر مواد. وتبدأ بالفئات الكلاسيكية من المواد في مجالها: الزجاج، والبلاستيك، والمعادن — مثل الصلب، والنحاس الأصفر — والخزف، ثم تنتقل إلى المواد الشائعة في الصناعة والحِرَف، التي تُدْرَس رغم ذلك بدرجة أقل في المختبرات، على غرار السكر، والصوف، والخشب، والورق، والحجر. وتجرِّب العمل على نفخ الزجاج، وصنع الفخار، وصب الفولاذ، وأشغال الإبرة، ونحت الملاعق الخشبية. وتتعرف على الفنون التي تَستخدِم البلاستيك، والحِرف التي تستخدم الأحجار، وتلقي نظرة شاملة على مواد لم تكن لتعيرها اهتمامًا من قبل.

وتمخضت تلك الجهود عن فهم لخواص المواد وتأثيرها الثقافي، ساعدها على توصيل العلوم على نحو أفضل. وبوصفي كيميائية امتهنت الكتابة، وهاوية شغوفة بالحِرَف من أشغال الإبرة، إلى فن طيّ الورق (الأوريجامي)، تفهمت للغاية الأسباب التي دفعتها إلى مسعاها.

ويتخلل وصف بلوجايسكي لتجاربها عرض لمنظور علم المواد لهذه الوسائط المادية، بدءًا من التركيب الجزيئي غير منتظم الشكل للزجاج، إلى التفاعلات الكيميائية بين معادن الكالسيوم، والرطوبة، وثاني أكسيد الكربون، التي تُكسِب الملاط الجيري خواص الإصلاح الذاتي المذهلة التي يتميز بها. كما تصف تاريخ استخدام كل

مـادة بمقتطفـات مـن التراث وعلـم الآثار من جميـع أنحاء العالـم، تنوعـت بـدءًا من الإشـارة إلى جـوارب مغزولة من مصـر القديمـة، يزيـد عمرها علـى ثلاثة آلاف عـام، وصولًا إلـى أفـران تعمـل بطاقـة الرياح، استُخدمت فـي سـريلانكا فـي أثنـاء العصـر الحديدي. وتـروي كذلك قصصًـا طريفة حول ما أصبحت بعض المواد تعنيه بالنسـبة إليها، فتسـرد علـى سـبيل المثـال - قصـة مصنع البلاسـتيك الذي أنشـأه جدهـا، الـذي وفـد مهاجرًا إلـى البلاد، والوجبـات الخفيفة الغنيـة بالسـكر، التـي مكّنتهـا مـن السـباحة عبـر القنـال الإنجليـزي، والـورق الـذي حمـل أفـكارًا وقصصًـا دوّنتهـا نسـاء مثليّـات علـى مـدار قـرون مضـت، وكانـت عونًـا لهـا علـى فهـم طبيعتهـا الجنسـية. وقـد تمخـض هـذا كله عن سـرد سـاحر ومؤثر.

"غالبًا ما ينسى العلماء أن تجاربهم وثقافاتهم تؤثر على كل جانب من جوانب عملهم".

التأثير في عالم الواقع

وفي الفصل المعنون "صُلب" Steel تحكي بلوجايسكي عن نجاحها، في أثناء دراستها الجامعية، في الفوز بعضوية فريق يعمل على تصميم مركبة تتحدى الرقم القياسي في السرعة على اليابسة. وقد اكتشفت أن التروس في محرك السيارة تتحطم بفعل الضغط الناتج عن تكتل ذرات الكربون داخل معدن هذه التروس، لكنها عجزت عن توظيف هذا الاكتشاف عمليًّا على نحو يساعد الفريق على تحقيق هدفه، لأنها لم تملك الثقة اللازمة لعرض أفكارها على الميكانيكيين الذكور الأكبر سنًّا.

وقد بات الانفصال بين البحث العلمي الجيد وعرضه بالطريقة المناسبة للناس واضحًا بجلاء في أثناء جائحة "كوفيد-19". ففي وسع الباحثين فهْم آليات العدوى بالفيروس، وإنتاج لقاحات فعالة مضادة له، وتقديم بيانات وبائية مثيرة للاهتمام عنه، بيد أنه دون فهْم الأسباب التي تعوق بعض الأفراد عن تلَقّي اللقاحات، أو تدفع بعضهم إلى الامتناع عن تلقيها، فإن تلك النتائج العلمية المكتشَفة قد لا تساعد الناس.

وتسـلط تجـارب بلوجايسـكي الضوء كذلك علـى الكيفية التـي يشـكّل بها الأفـراد البحث العلمـي. فالعلماء يهدفون إلـى تحقيـق الموضوعيـة، لكنهـم غالبًـا مـا ينسـون أن تجاربهـم وثقافاتهـم تؤثـر علـى كل جانـب مـن جوانـب عملهـم. ومثلمـا تشـكّل ذَرّة فـي قطعة من الخشـب شـكل الملعقـة التـي تنحتهـا بلوجايسـكي، تشـكّل بِنْيـة المجتمع الأسـئلة البحثيـة التـي يسـعى العلمـاء لإيجاد إجابـة عنها. وهـذا الوضـع ليس سـيئًا بالضـرورة، بل تظهر المشـكلات عندمـا ينسـى الباحثـون أن مقارباتهـم تشـكلها الظـروف المحيطـة بهـم. ومثـال علـى ذلـك أن بلوجايسـكي، التـي تعـزف آلـة البـوق منـذ طفولتهـا، اكتشـفت أن الأبـواق لا تُصنـع دائمًـا مـن النحـاس الأصفـر، فبعـض العازفيـن يفضلـون الصوت الناتج عن أبواق مصنوعة من الفضة، أو النحـاس الخالـص. وتُذَكّرني هذه القصة بالاعتقاد الشـائع بـأن علـم الفلـك هـو علـم بصـري، علـى الرغـم مـن أن عـددًا مـن الفلكييـن المكفوفيـن كانـوا روادًا فـي استكشـاف الكـون عبـر الصوت.

وفي الحقيقة، تمنيت أن تقدم لنا بلوجايسكي مزيدًا من الأوصاف والقصص. فالشروح العلمية الموجهة إلى عموم القراء في كتابها انتهت فور ما أن بدأت تثير اهتمامي. وهي تكتفي باستعراض نبذة سطحية عن تاريخ كل مادة، ودلالاتها الثقافية الضمنية، واستخداماتها المحتملة، بل كدت أتمنى أن تكتب مجلدًا كاملًا لمحتوى كل فصل، ليصبح لدينا موسوعة عن العلم والحِرَف.

والتأمـل فـي تأثير التجربة الجسـدية على أفكارنا كاشـف حقًّا. والفصـل بيـن الجانبيـن له تأثير ضار، حسـبما تشـير بلوجايسكي؛ فكل جانب بوسعه أن يحسّن الآخر. وبوصفي حِرَفيـة، أتفهـم جيدًا الارتيـاح الذي تجده بلوجايسـكي في الإبـداع الحرفي. فثمة شـيء من السـحر ينطـوي عليه غزل مجموعـة مـن الأليـاف الرقيقة المتنوعة، لتشـكل خيطًا قويًّا يبعـث فـي الناظـر شـعورًا بالـدفء، أو اسـتخلاص كتـل الجبـن الصلبـة مـن اللبـن السـائل. وبعد الانغمـاس طوال اليـوم فـي الأفـكار والنظريـات، من المبهج أن أحمل شـيئًا حقيقيًّـا بيـن يـدي، وأقـول: "أنا من صنـع هذا".

آنا نوفيتسكي

محررة مساعدة، وقائدة فريق في دورية *Nature* بلندن.



ANNA PLOSZAJSKI

ملاعق نحتتها بلوجايسكي من الخشب في أثناء استكشافها له.

«صناعة يدوية: رحلة علمية للبحث عن معاني الأشياء من خلال تطبيقاتها»،
آنا بلوجايسكي،
بلومزبيري (2021)


BEAWIHARTA/REUTERS

رجل يفرز خام القصدير من الرمال في إندونيسيا، حيث تُستَخرَج معادن عديدة لازمة لأشباه الموصلات بتكلفة بشرية وبيئية كبيرة.

الذكاء الاصطناعي: من ينتج هذه التقنية ويديرها؟

كتابان يطرحان رؤى مكملة لبعضها حول الدور الذي يلعبه الذكاء الاصطناعي، في رسم ملامح المجتمع. **فرجينيا ديجنوم**

يتغلغل الذكاء الاصطناعي في جوانب حياتنا كافة، فهو يحدد لنا ما علينا أن نقرأه وما علينا أن نشتريه. كما يقرر ما إذا كنا سنحصل على هذه الوظيفة، أو ذاك القرض، أو الرهن العقاري، أم لا، أو ما إذا كنا سنتلقى الإعانات، أو الإفراج المشروط، أم لا. كما أنه يُشخِّص الأمراض، ويدعم العمليات الديمقراطية، ويقوضها أحيانًا. والآن، يطرح كتابان جديدان رؤى مكملة لبعضها البعض حول الدور الذي يلعبه من يخلِّقون نُظُم الذكاء الاصطناعي، ويستخدمونه ويديرونه لإعادة تشكيل ملامح المجتمع.

ففي كتاب "معضلة الانحياز" *The Alignment Problem*، يقدم لنا الكاتب برايان كريستيان نظرة من كثب على واقع الأشخاص الذين يصنِّعون تكنولوجيا الذكاء الاصطناعي؛ أي على أهدافهم، وتوقعاتهم، وآمالهم، وتحدياتهم، وحتى إخفاقاتهم التي يواجهونها. ويستهل كريستيان كتابه بالحديث عن جهود والتر بيتس في مجال التمثيل المنطقي لنشاط الخلايا العصبية في أوائل القرن العشرين. ويسرد أفكار باحثين ومهنيين في مجالات عدة، بداية من العلوم المعرفية، حتى الهندسة. كما يعرض أهدافهم، ونجاحاتهم، وإخفاقاتهم. أما كتاب "أطلس الذكاء الاصطناعي" *Atlas of AI*، من تأليف كايت كروفورد، الباحثة واسعة التأثير، فيتناول الطرق التي يتدخل بها الذكاء الاصطناعي فعليًا في حياتنا، ويستعرض مظاهر ذلك التدخل. ويُبيِّن الكتاب أن الذكاء الاصطناعي هو صناعة قائمة على استخلاص الموارد واستغلالها، بداية من المادة، ومرورًا بالعمالة، ووصولًا إلى المعلومات.

ويحلل الكتابان الكيفية التي تؤثر بها قوة العالَم الرقمي، ونفوذ مَن يديرونه كذلك، في تغيير مسارات السياسة والعلاقات الاجتماعية. وفي ذلك السياق، يشير الكتابان إلى نماذج بديلة تبَنّاها البعض لإدارة هذه الاضطرابات التي خلقها العالَم الرقمي، مثل فرض الرقابة من جانب الدولة في الصين، أو جهود الاتحاد الأوروبي التنظيمية في ذلك الصدد. بيد أن الكتابين يركزان في الأساس على التجربة الأمريكية. ولذلك، فهما يستدعيان تتمة لكل منهما، تدور هذه المرة حول سبُل المضي قدمًا.

"معضلة الانحياز: تعلُّم الآلة والقيم الإنسانية"
برايان كريستيان
دار نشر دبليو. دبليو. نورتون (2020)

"أطلس الذكاء الاصطناعي: القوة، والسياسة، والثمن الذي يدفعه العالَم لقاء الذكاء الاصطناعي"
كايت كروفورد
دار نشر جامعة ييل (2021)

من نبوءة إلى انتشار بلا حدود

يتتبع كريستيان رحلة تطوُّر تكنولوجيا الذكاء الاصطناعي، منذ أنْ كان مجرد حلم، إلى أن فَرَض وجوده، كجزء لا يتجزأ من الواقع في كل مكان. ويشرح كريستيان كيف يحاول الباحثون تدريب الذكاء الاصطناعي على فهْم القيم الإنسانية، مثل الإنصاف، والشفافية، والفضول، بل وعدم اليقين، مشيرًا إلى التحديات التي تعترض طريقهم. ويستند الكتاب بصورة كبيرة إلى لقاءات مع باحثين ومهنيين. ويرسم من خلال هذه اللقاءات المسار البطيء، والثابت، والمعقد الذي تَبِعَته تكنولوجيا الذكاء الاصطناعي في تقدُّمها. وما حفل به ذلك المسار من إحباطات عديدة، تخللتها نجاحات مدهشة.

ونلتقي خلال تلك الرحلة بأشخاص مثل ريتش كاروانا، الذي يشغل الآن منصب كبير الباحثين الرئيسيين لدى شركة "مايكروسوفت" Microsoft في مدينة ريدموند بولاية واشنطن الأمريكية، والذي طُلب منه - وقتما كان طالب دراسات عليا - أن يلقي نظرة على ابتكار سيصبح فيما بعد من صميم عمله لبقية حياته، يتمثل في تحسين سبُل تجميع البيانات وضغطها، لصنع نماذج بيانات مفهومة ودقيقة. كما يأخذنا المؤلف في نزهة سير على الشاطئ بصحبة مارك بيلمير، الذي قاد جهود ابتكار تقنية التعلُّم التعزيزي في أثناء عمله على تطوير الألعاب الخاصة بنظام "أتاري" Atari، قبل توليه منصبه الحالي لدى شركة "جوجل ريسيرش" Google Research، في مدينة مونتريال بكندا.

ويوضح كريستيان أن الباحثين يملكون وعيًا متزايدًا بأنّ التطورات التي يشهدها مجال الذكاء الاصطناعي تتأثر بالقيم المجتمعية، بل تؤثر عليها، وذلك هو الأهم، لكنّ تلك التطورات لا تأتي دون ثمن، ويمكن أن تخلِّف آثارًا عميقة على المجتمعات. وهنا يطرح كتاب "معضلة الانحياز" سؤاله الجوهري: ما الذي يمكن فعله، كي نضمن أن تعكس أنظمة الذكاء الاصطناعي معاييرنا وقيَمنا، وأنْ تفهم ما نعني، وتفعل ما نريد؟ فلدينا جميعًا مفاهيم ومتطلبات مختلفة حول ما ينبغي أن تفعله تلك الأنظمة. وكما قال عالِم الرياضيات نوربرت وينر في عام 1960: "من الأفضل لنا أن نكون موقنين تمامًا من أنّ المعطيات التي نملأ بها الآلة تعبر عن الغرض الذي نرغب في تحقيقه فعلًا".

من ناحية أخرى، يكشف كتاب كروفورد الوجهَ القبيح لنجاح الذكاء الاصطناعي؛ إذ يأخذنا في رحلة حول العالَم، لاستكشاف العلاقات بين الأماكن، وتأثيرها على البِنْية التحتية للذكاء الاصطناعي. وننطلق في تلك الرحلة من ولاية نيفادا الأمريكية، وصولًا إلى إندونيسيا، وهي أماكن يجري فيها استخراج مادتَي الليثيوم، والقصدير، المهمّتين في صناعة أشباه الموصلات، وهي صناعة تتأتى بتكلفة بشرية وبيئية عالية. بعد ذلك، نصل إلى مستودع تابع لشركة "أمازون" Amazon في ولاية نيوجيرسي الأمريكية. وهناك يكدح العمال مذعنين لإرادة الروبوتات وخطوط الإنتاج، بدلًا من أن يتكيف التشغيل الآلي مع إيقاع العمل البشري. وفي إيماءة مثيرة للقلق لفيلم "العصر الحديث" *Modern Times*، الذي صدر في عام 1936، من إخراج شارلي شابلن، نشهد بأعيننا المصاعب التي تولِّدها أنظمة التشغيل الآلي الكاذبة، وهي أنظمة تشغيل يفترض أنها آلية، لكنها تعتمد بشكل كبير على الجهد البشري، كذلك الذي يبذله العمال الذين يتقاضون أجورًا أقل من الحد الأدنى، لقاء العمل في مَزارع تصنيف البيانات.

وتختم كروفورد كتابها برسالة تذكيرية تلفت الانتباه إلى أن الذكاء الاصطناعي ليس موضوعيًّا، أو محايدًا، أو صالحًا

لكل الأحوال، بل تنشأ جذوره من ثقافة صانعيه، وواقعهم الاقتصادي، وأغلب هؤلاء من الرجال البيض والأثرياء الذين يعملون في شركات وادي السيليكون في كاليفورنيا.

ويتميز الكتابان برصانة عرضهما للتحديات والمخاطر التي تشوب استخدام الذكاء الاصطناعي وتطويره في الوقت الراهن، وللفروق التي تفصل بين الذكاء الاصطناعي والحوسبة "الكلاسيكية". وبالتالي، فإن قراءتهما جنبًا إلى جنب تسلط الضوء على ثلاث قضايا أساسية، هي: الإفراط في الاعتماد على التنبؤات العشوائية المدفوعة بالبيانات، والقرارات الآلية، وتمركز القوة.

هيمنة البيانات

في الفيلم الوثائقي "التحيز المُبرمَج" *Coded Bias*، الصادر في عام 2020، قالت باحثة الذكاء الاصطناعي جوي بولاميني إنّ الاستناد إلى الخوارزميات في صناعة القرار أمر يُحبِط جهودًا بُذِلت لعقود من أجل إحراز تقدم في مسيرة تحقيق المساواة في الحقوق، مُجسِّدة بذلك التحيزات نفسها التي نكتشف أنها لا تزال متأصلة حتى الآن. والسبب أن استخدام البيانات في صياغة القرارات الآلية غالبًا ما يتجاهل السياقات والعواطف والعلاقات التي تنطلق منها الخيارات البشرية بصورة جوهرية.

ليست البيانات مواد خام، ولكنها دائمًا ما تكون مرتبطة بالماضي، وتعكس معتقدات وممارسات وتحيزات أولئك الذين ينتجونها ويجمعونها. ومع ذلك، فإن الاعتماد الحالي على التشغيل الآلي في عملية صناعة القرار نابع من رغبة في تحقيق الكفاءة وجَنْي الفوائد الاقتصادية، أكثر من كونه معنيًا بتأثير ذلك على الأفراد.

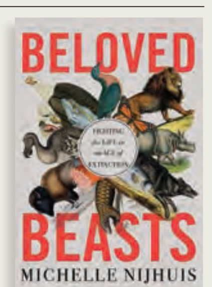
الأسوأ من ذلك أن معظم أساليب الذكاء الاصطناعي يضع القوة في أيدي أولئك الذين يملكون البيانات والقدرة الحوسبية على معالجة تلك البيانات وإدارتها. وهي في الغالب شركات التكنولوجيا الكبرى، أي كيانات خاصة لا تخضع للعمليات الديمقراطية وتوزيع السلطة. وهنا تصبح الحكومات والأفراد مجرد مستخدمين غير متحكمين في كل هذه العمليات. وهو تحوُّل له عواقب هائلة، ويملك قدرة على تغيير وجه المجتمع.

فما العمل إذَن؟ إلى جانب ما يمكن بذله من جهود لتنقية البيانات من التحيز، وتفسير القرارات التي تتخذها الخوارزميات، نحتاج كذلك إلى النظر في مصدر التحيز نفسه. ولن يتحقق ذلك من خلال الحلول التكنولوجية، ولكنْ من خلال التثقيف والتغييرات الاجتماعية. وفي الوقت نفسه، هناك حاجة إلى إجراء أبحاث علمية تنظر في مسألة الاعتماد الضار لمجال الذكاء الاصطناعي على رصد الارتباطات في البيانات، إذ يرصد الذكاء الاصطناعي بشكله الحالي الأنماط الموجودة في البيانات، إلا أنه لا يقدم تفسيرًا لها.

وببحثٍ متعمق وأسلوب رائع في الكتابة، يقدم لنا الكتابان في نهاية المطاف مرآة تعكس واقع الذكاء الاصطناعي، إذ يُبيِّن الكتابان أن التطوير والاستخدام الرشيد، للذكاء الاصطناعي، من الناحية الأخلاقية والقانونية، والنفعية لا يتوقف على هذه التقنية نفسها، بل علينا: أي على الهيئة التي نريد أن يبدو عليها عالمنا، وإلى أي مدى نعطي الأولوية لحقوق الإنسان والمبادئ الأخلاقية، ومَن يندرج في تلك الفئة التي نسميها "نحن". أصبحت هذه المناقشة واقعًا حتميًّا، ولكنّ السؤال الجوهري: كيف يمكن أن يكون للجميع صوت في هذا النقاش؟

فرجينيا ديجنوم، أستاذة في قسم علوم الحوسبة بجامعة أوميو في السويد.
البريد الإلكتروني: virginia@cs.umu.se

ملخصات الكتب



وحوش محببة

ميشِل نايهاوس، دار نشر دبليو دبليو نورتن (2021)

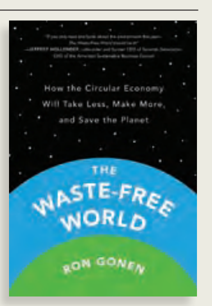
في عام 2019، وُلِدَ حيوان وحيد قرن أبيض (*Ceratotherium simum*) بحديقة الحيوان في سان دييجو بولاية كاليفورنيا الأمريكية، وكان ذلك نتيجة للتخصيب الصناعي. وقد تؤدي تقنية ذات صلة، تعتمد على قسطرة روبوتية معقدة، إلى إنتاج عدد كبير متجول من وحيد القرن الأبيض من الفصيلة الشمالية التي صارت في حكم المنقرضة وظيفيًّا. هذه نماذج لمحاولات الحفاظ على الكائنات، ترويها الصحافية العلمية ميشل نايهاوس في كتابها المثير للتأمل وسهل القراءة عن تاريخ "أولئك الذين فعلوا أشياء خاطئة لأسباب صحيحة، وأولئك الذين فعلوا أشياء صائبة، ولكنْ لأسباب خاطئة".



على الحافة

مايكل دي. جوردين، دار نشر أكسفورد يونيفرسيتي برس (2021)

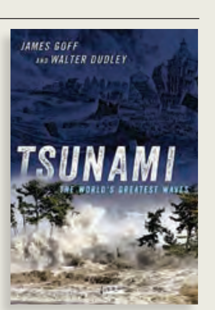
يُجْمِع العلماء على أن نظريات معينة، مثل "الاندماج البارد"، و"الخَلْق"، و"تحسين النسل (اليوجينيا)"، التي ابتكرها النازيون هي نماذج للعِلْم الزائف، ولكنْ ماذا عن نظريات مثل نظرية "الأوتار الفائقة" (وهي نظرية خلابة من الناحية الرياضية، ولكنْ لا يمكن اختبارها)، وماذا عن وجود حياة ذكية خارج الأرض، وعن تمدد الكون؟ كتب مؤرخ العلوم، مايكل جوردين، في كتابه القصير والمفيد يقول: "لقد تبين أن الإجماع العلمي... أقل وضوحًا وصلابة مما قد نظن"، وقد دفعه إلى تأليف هذا الكتاب بدرجةٍ ما الجدلُ الدائر حول التطعيم ضد مرض "كوفيد-19" على نطاق واسع. وقد خلص جوردين إلى أنه طالما وُجِد العِلْم، فسيوجد أيضًا العلم الزائف.



عالم بلا نفايات

رون جونِن، دار نشر بورتفوليو (2021)

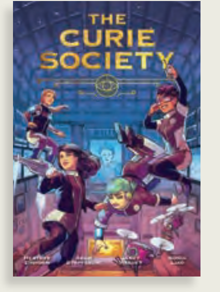
شارك رون جونن في تأسيس شركة "ريسايكلبانك" Recyclebank في مدينة نيويورك الأمريكية في عام 2003، ثم صار نائبًا لمسؤول الإجراءات الصحية وإعادة التدوير والاستدامة بالمدينة في عام 2012. يدعو جونن لما يسميه "الاقتصاد الدائري": وهو الاستثمار في تقنيات متطورة تتضمن علم المواد، وتصميم المنتجات، وإعادة التدوير، والتصنيع من أجل خلق منظومة مغلقة، لا نفايات فيها. ويقول جونن إن الربح حينها يصبح مرادفًا للحفاظ على الصحة والحفاظ على البيئة. وسيحظى هذا الكتاب واضح الأسلوب، عَمَليّ التوجه، باهتمام كل من يشعر بتأنيب الضمير عند فرز قمامة المنزل للتخلص منها.



تسونامي

جيمس جوف وولتر دادلي، دار نشر أكسفورد يونيفرسيتي برس (2021)

ظهر مصطلح "تسونامي" - المشتق من لفظتين يابانيتين، معناهما "ميناء"، و"موجة" – للمرة الأولى في اللغة الإنجليزية في عام 1896. أما اليوم، فقد صار المصطلح يعني سلسلة من الأمواج المتحركة لفترات طويلة للغاية، وتكون عادة مصحوبة بزلازل تحدث في قاع المحيط، أو بقرب القاع، وذلك وفقًا لما ذكر باحثا الجيولوجيا المائية جيمس جوف، وولتر دادلي. ويحتوي كتابُهما الثري، المُوَجَّه إلى غير المتخصصين، على فصول لتاريخ موجات تسونامي في لشبونة (1755)، وتشيلي (1960)، والمحيط الهندي (2004)، ولكنْ من الغريب أن الكتاب لا يتناول التسونامي الذي ضرب المفاعل النووي في فوكوشيما دايشي باليابان في عام 2011.



جماعة كوري السرية

هيذر أينهورن وآخرون، دار نشر إم آي تي برس (2021)

"آنَ أوان أن نفهم أكثر، لكي يتراجع خوفنا". تلك هي كلمات العالمة الراحلة ماري كوري، التي تُفتتح بها تلك القصة المصورة للمغامرة والحركة، عن مجموعة من العالمات من تخصصات مختلفة، وتهدف إلى إلهام الفتيات الشابات. القصة من تأليف هيذر أينهورن، وآدم ستافاروني، وبمشاركة الكاتبة جانِت هارفي، والفنانة سونيا لياو، وتدور حول ثلاث بطلات مختلفات، عضوات في جماعة كوري السرية. تعتمد البطلات على ذكائهن، وسعة حيلتهن، وعلى أحدث التقنيات للتفوق على علماء أشرار مخادعين يهدِّدون العالَم أجمع. رائع!

ماذا يلزم لحل أزمة منظومات الصرف الصحي؟

النقص العالمي في شبكات الصرف الصحي الآمنة أزمة تتطلب حلولًا مبتكرة ودعمًا. **جوزي جلاوسيوز**

منذ القرن السادس قبل الميلاد، عندما بدأ الرومان في بناء "شبكة المجاري الكبرى" الخاصة بهم، أصبحت شبكات الصرف الصحي الآمنة تجسيدًا للحضارة. وبعد ما يزيد على ألفي عام، وصف روائي من العصر الفيكتوري شبكات المجاري التي تتسم بالكفاءة بأنها "أكثر نبلًا وقداسة" من أكثر لوحات السيدة العذراء إثارة للإعجاب والإكبار. وقد أدى إنشاء شبكة مجاري ضخمة في مدينة لندن في ستينيات القرن التاسع عشر إلى وضع حد للأوبئة المنقولة عبر المياه والناجمة عن بكتيريا الكوليرا التي أودت بحياة عشرات آلاف الأشخاص. وفي عام 2007، اختار أكثر من 11,300 قارئ لمجلة "ذا بي إم جيه" *The BMJ* الطبية الثورة في تدابير توفير المياه والصرف الصحي، بوصفهما الإنجاز الطبي الأهم منذ عام 1840.

وحاليًا، ثمة حاجة هائلة إلى مراحيض مبتكرة. على سبيل المثال، في عام 2017، افتقر مليارًا شخص إلى مراحيض تتمتع بالحد الأدنى من الكفاءة، ولا يزال 673 مليون شخص يضطرون إلى التغوط في العراء. ويرتبط ضعف تدابير توفير المياه النظيفة والصرف الصحي بانتقال أمراض مثل الكوليرا، والتيفويد، وشلل الأطفال، والرمد الحبيبي. من هنا، اعتمدت الأمم المتحدة توفير المياه النظيفة وخدمات الصرف الصحي للجميع، بحلول عام 2030 كأحد أهداف التنمية المستدامة الخاصة بها، لكن هذا يكبِّد عشرات المليارات من الدولارات سنويًا، حسبما يكشف كتابان جديدان حول هذا الموضوع، هما: "أحلام النظافة" *Pipe Dreams* لتشيلسا والد، وكتاب "فضلات" *Waste* لكاثرين كولمان فلاورز.

تقول والد في كتابها الممتع، الذي ينم عن بحث متعمق، وولع باستكشاف تاريخ منظومات الصرف الصحي العتيقة وما شهدته من ابتكارات: "لِمْ تعد المراحيض اليوم تبدو إعجازًا مثلما بدت فيما مضى". فمع نمو المدن، أصبحت البنى التحتية لمنظومات الصرف الصحي المتقادمة بها مثقلة بالأعباء، لا سيما في أثناء العواصف. ومواسير المجاري التي وُصِفت بالنبل يومًا ما، صارت اليوم تتعرض للانسداد المتكرر بفعل المواد الصلبة غير القابلة للتحلل، وهي تراكمات هائلة من الشحوم والمناديل الرطبة، لها قوام الخرسانة وثقل يعادل وزن عدة أفيال.

وتضيف والد في كتابها: "إن البنى التحتية للمنظومات الحديثة الخاصة بتوفير المياه النظيفة والصرف الصحي قد خلقت وهْمًا بأن فضلاتنا تختفي ببساطة على نحو يشبه السحر، لكن أكوام الغائط لا ترحل ببساطة في سلام تاركة هذا العالم"، بل تبقى غالبًا غير معالجة وتسبب التسمم للأفراد والأنظمة البيئية. وترى والد أننا في حاجة إلى جيل جديد من المراحيض، يبدد كميات أقل من المياه، والمواد الغذائية، والطاقة. من ثم، ارتحلت والد من ألاسكا إلى إندونيسيا، مارةً ببقاع عديدة بين البلدين، كي تحاور عددًا من العلماء ومسؤولي الصحة العامة ورواد الأعمال في مجال إنشاء شبكات المراحيض.

وجدير بالذكر أن بلدانًا عديدة تقترب من تحقيق أهداف التنمية المستدامة تلك، عبر تنفيذ مشروعات مبتكرة لتوفير المياه النظيفة والصرف الصحي بأدنى تكلفة. على سبيل المثال، في بلدة سنيك في هولندا، زارت والد شركة تدعى "دي ساه" DeSaH، ركبتْ مراحيض تعمل بالتفريغ الهوائي فيما يزيد على 200 شقة، حيث تشفط هذه المراحيض النفايات، التي تُعالج بعد ذلك في مرفق محلي صغير. ويستهلك كل مرحاض لترًا واحدًا من المياه للتخلص من الفضلات، في حين تستهلك المراحيض التقليدية 8 لترات في المعتاد. وتُستخدم أنظمة التفريغ الهوائي هذه في عدة مواقع بالدول الغنية مثل هولندا، والسويد. بيد أن نشر هذه التكنولوجيا الموفِّرة للمياه عالميًا، يشكل تحديًا؛ نظرًا لما يعترضها من عوائق مالية وغير ذلك من العقبات، حسبما تنوِّه والد. وتشير إلى مشروع اجتماعي في كينيا يُسمى "سانيفايشن" Sanivation، يجمع الغائط البشري ويعالجه، ثم يضغطه في "قوالب براز"، تُستخدم كمصدر للوقود. وحتى الآن، باعت الشركة القائمة على المشروع حوالي 1500 طن من هذه القوالب الكروية الصغيرة، وكل طن منها يساوي إنقاذ 88 شجرة. أما في إندونيسيا، حيث يوجد القليل من منظومات الصرف الصحي، فقد تابعت والد مشروعاتِ رائد الأعمال في مجال خدمات النظافة والصرف الصحي، كوين إريانتو أوريبان، الذي موَّل تركيب الآلاف من خزانات الصرف الصحي المعقمة المصنوعة من الألياف الزجاجية، في فناءات المنازل في مدينة سورابايا، حيث استطاع أوريبان باستخدام النكات، ومجسمات للغائط من الورق المعجَّن، التسويق لمراحيض رخيصة وسهلة التركيب، تُستخدم داخل المنشآت، ويتصل كل منها بواحدة من تلك الخزانات، التي تحلل فيها البكتيريا الفضلات. وهذا المشروع جزء من حملة أكبر على مستوى البلاد بهدف تقليل عدد من يضطرون إلى التبرز في الخلاء.



INDRANIL MUKHERJEE/AFP/GETTY

حافلة في مدينة بونه في الهند، حُوِّلت إلى مرحاض متنقل حيث يمكن للنساء الشعور بالأمان لدى قضاء حاجتهن".

كتاب "أحلام النظافة: السعي العالمي نحو ثورة في منظومات المراحيض"
تشيلسا والد
دار نشر أفيد ريدر/سيمون آند شوستر

كتاب "فضلات: قصة كفاح امرأة للكشف عن سر أمريكا المشين"
كاثرين كولمان فلاورز.
دار نشر ذا نيو بريس (2000).

إن الشعور العالمي بالتقزُّز من عملية الإخراج نشرَ الدعابة والخوف على حدٍ سواء. على سبيل المثال، آمن البابليون القدماء بشيطان يسكن المراحيض يُسمى سولاك، قادر على الإتيان بالنحس أو الإصابة بالجروح أو الأمراض. وفي التقاليد اليهودية صاغ الحاخامات أدعية للملائكة التي تصاحب المرء إلى "بيت المرحاض" لتنتظره خارجه، وثمة دعاء يُردد عند الخروج من الحمّام.

غير أن هذا الخوف يكتسب أبعادًا حقيقية تمامًا لدى من لا تتوفر لهم مراحيض آمنة وصحية. على سبيل المثال، أشارت الدراسات في الهند وجنوب أفريقيا إلى أن النساء اللاتي يضطررن إلى مشاركة دورة المياه مع غرباء، أو إلى الخروج للتغوط في الخلاء هن أكثر عرضة لخطر الاغتصاب[1،2]. وغرف دورة المياه ذات الأبواب المزودة بأقفال داخلية ورفوف لتخزين منتجات العناية بالنظافة الشخصية خلال فترة الطمث، قد تساعد النساء والفتيات، من متوافقي الجنس والمتحولين جنسيًا، على الشعور بالأمان والحفاظ على كرامتهن؛ كما أنها تقلل احتمالية التغيب عن الفصول الدراسية بين الطالبات في المدارس. من هنا، أعاد مخططو مدينة دوربان، بجنوب أفريقيا، وغيرها من البقاع، تجهيز حاويات الشحن لتلائم هذا الغرض.

ويمتد نقص كفاءة منظومات توفير المياه النظيفة والصرف الصحي إلى الولايات المتحدة، حيث يعيش أكثر من مليوني شخص بدون مياه جارية أو أبسط مقومات السباكة في الأماكن المغلقة، حسبما تشير فلاورز مناصرة الصحة البيئية.

فتصف فلاورز بالتفصيل في كتابها "فضلات"، الحملات التي أطلقتها لنشر الوعي بضعف تدابير توفير المياه النظيفة والصرف الصحي في المجتمعات الريفية الأمريكية. وقد ركزت على مقاطعة لاوندز، في ولاية ألاباما الأمريكية، وهي منطقة يشكل الجزءَ الأكبر من سكانها فقراءُ من السود، مثلها. وتعاني نسبة قوامها حوالي 90% من الأُسر بالمقاطعة من أنظمة تصريف مياه معطلة أو قاصرة. وقد أظهرت دراسة تناولت ساكني المقاطعة، ونشرت في عام 2017 (انظر المرجع رقم 3) أن أكثر من ثلثيهم كانوا مصابين بعدوى الدودة الشِّصِيَّة (الأنكلوستوما) التي تنتقل عبر البراز.

ولإصلاح تلك البنية التحتية المتهالكة، تحاجج فلاورز بأننا في حاجة إلى "حراك يشبه إعصارًا"، أو كارثة صحية عامة على غرار اكتشاف تلوث مياه الشرب بالرصاص في مدينة فلينت في ولاية مشيجان. وكما لاحظنا خلال جائحة "كوفيد-19"، في وسع السياسيين جمع مبالغ طائلة من المال سريعًا. بيد أنه من الصعب تصور أن إعصارًا قد يؤدي إلى إدخال أنظمة صرف صحي ذات كفاءة في مجتمع أغلبيته من السود، كما هو الحال في مدينة سينترفيل، بولاية إلينوي الأمريكية، حيث تتدفق مياه المجاري غير المعالجة بجوار المنازل على الرغم من أن السكان يدفعون مقابل خدمة الصرف الصحي المحلية.

ولعل ما نحتاجه حقًا هو ثورة بشرية جماعية، على غرار تلك التي تمثلها فلاورز والشراكات التي تعقدها مع المناطق المجاورة وصانعي القوانين والمنظمات العالمية؛ من أجل توفير مياه نظيفة، وخدمات صرف صحي لأولئك الذين حُرموا منها.

جوزي جلاوسيوز: صحفية علمية تُقيم في إسرائيل
تويتر: josiegz@

1. Jadhav, A., Weitzman, A. & Smith-Greenaway, E. *BMC Public Health* **16**, 1139 (2016).
2. Gibbs, A., Reddy, T., Khanyile, D. & Cawood, C. *Glob. Public Health* **16**, 590–596 (2021).
3. McKenna, M. L. *et al. Am. J. Trop. Med. Hyg.* **97**, 1623–1628 (2017).

أنباء وآراء

الفيزياء الذرية والجزيئية

تبريد المادة المضادة باستخدام ضوء الليزر

ماساكي هوري

استُخدِم شعاع من الليزر لإبطاء ذرات من الهيدروجين المضاد، وهي أبسط الذرات المكوَّنة من مادة مضادة خالصة. وقد تتيح هذه التقنية فحص بعض ظواهر التناظُر الأساسية في الكون بدقةٍ فائقة.

تُميِّز نموذجَ فيزياء الجسيمات القياسي سمةٌ أساسية غريبة، تتمثل في عدم احتمالية أن تتغير أي ظاهرة مجهرية إن طرأ عليها تحوُّلان افتراضيان معينان. ويُطلَق على أحد هذين القيدين الأساسيين المفروضين على تغيُّر الظواهر اسم "تناظر الشحن والتكافؤ، وانعكاس الزمن"، أو اختصارًا (تناظر CPT)، ويُقصد به أنَّا لو افترضنا أنَّ كل المادة الموجودة في الكون قد حلَّت محلها مادة مضادة، وأنها تحولت في الوقت نفسه إلى نسختها المعكوسة، وأن تدفق الزمن قد انعكس، فسيصير الكون الافتراضي الناتج غير قابل للتمييز عن كوننا الفعلي على المستوى المجهري. وفضلًا عن ذلك، يتنبأ مبدأ التكافؤ الذي تقوم عليه نظرية النسبية العامة لألبرت أينشتاين بأنَّ المادة والمادة المضادة تسقطان نحو الأرض بتسارع متساوٍ.

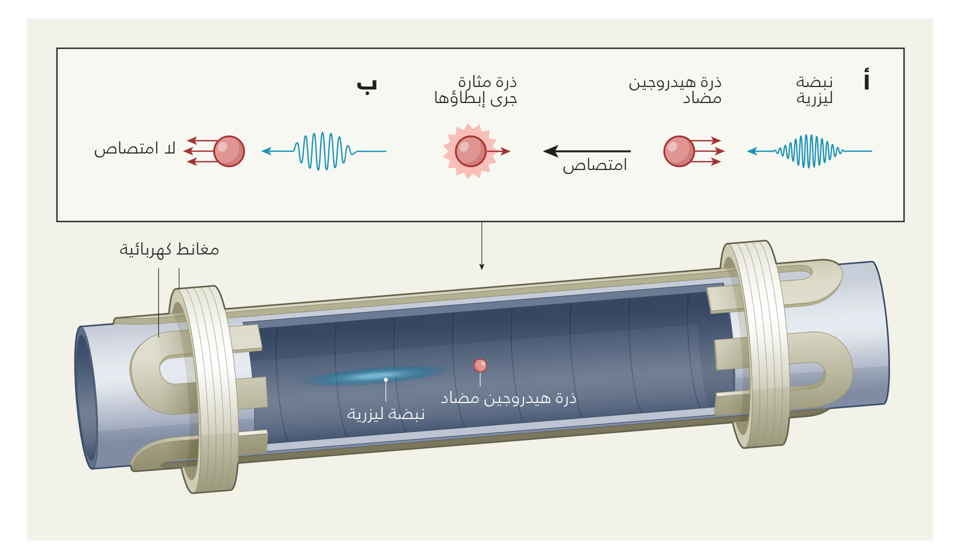
وهاتان القاعدتان أساسيتان جدًّا إلى حدِّ أنَّه سيصعُب صياغة فَهم متسق للطبيعة بدونهما. ومع ذلك، يجدر بنا اختبار ما إذا كانتا تظلان قائمتين بالفعل لدى استخدام القياسات فائقة الدقة التي تُجرى بأحدث التقنيات، أم لا، لأنَّ أي انحراف، مهما كان صغيرًا، سيجعل العلماء مضطرين إلى إجراء إعادة تفكير جذرية في أساس نظرياتنا عن الفيزياء. ومن هنا، يستعرض الباحث كريستوفر بيكر وفريقه البحثي[1] (من أعضاء التعاوُن البحثي المُشرِف على تجربة "ألفا" ALPHA)، في بحث نُشر مؤخرًا في دورية *Nature*، خطوة كبرى اتُّخذت في سبيل تحقيق هذه الغاية، إذ أبطأوا سرعة ذرات من الهيدروجين المضاد – أي نظير الهيدروجين من المادة المضادة – إلى سرعات منخفضة إلى حد غير مسبوق بغمرِ هذه الذرات في شعاع من ضوء الليزر فوق البنفسجي. وقد يُتيح ذلك إجراء القياسات المتعلقة بالذرات بدقة فائقة.

وتجدر الإشارة إلى أنَّ ذَرّة الهيدروجين المضاد هي أبسط ذَرّة مستقرة، ولا تتكون إلَّا من جسيمات مادة مضادة، وتحديدًا بروتون مضاد وإلكترون مضاد (أي بوزيترون). صحيحٌ أنَّ تحديد قياسات الهيدروجين المضاد يُعَد طريقة مثالية لفحص مدى التناظر بين المادة والمادة المضادة، إلا أن إجراء مثل هذه التجارب تواجهه عقبات هائلة. وعلى سبيل المثال، في عام 1995، أُنتِجَت 11 ذرة هيدروجين مضاد من تفاعلات في مسرِّع جسيمات لدى المنظمة الأوروبية للأبحاث النووية (CERN) المعنية بتجارب فيزياء الجسيمات الأوروبية، والواقعة بالقرب من مدينة جنيف السويسرية، حيث دُفِعَت هذه الذرات على طول أنبوب مفرغ، طوله 10 أمتار، بسرعة تبلغ تسعة أعشار سرعة الضوء[2]. ولم تكد كل ذرة تبقى سوى بضع عشراتٍ من النانوثوان، حتى دُمِّرت بالاصطدام بأحد كاشفات الجسيمات.

تلت هذه التجربة أبحاث أخرى حول الهيدروجين المضاد، وتضمَّن الكثير منها طرقًا جديدة لإنتاج عينات من ذرات تتحرَّك بوتيرة متباطئة. وقد تَحقَّق ذلك في النهاية باحتجاز سُحُب من البروتونات المضادة، والبوزيترونات، ومزجها معًا في مجالاتٍ مغناطيسية كانت بمثابة مصايد أيونات لإنتاج ذرات الهيدروجين المضاد. بعد ذلك، احتُجِزَت هذه الذرات في تشكيلة أخرى معقدة من المجالات المغناطيسية، كانت بمثابة مصيدة ذرات متعادلة الشحنة[3،4]. ويستطيع الآن تعاوُن "ألفا" البحثي في منشأة مُبطئ البروتونات المضادة، التابعة للمنظمة الأوروبية للأبحاث النووية، أن يحتجز - بصفة دورية - 1000 ذرة هيدروجين مضاد لساعات عديدة بهذه الطريقة. وقد أتاح ذلك قياس[5] التردد الذري للهيدروجين المضاد – الذي يُعادل الطاقة الناجمة عن انتقال إلكتروني معين بين مستويات طاقة الذرة - بدقة طفيفة قيمتها جزءان في 10^{12}. ولم يُرصَد أي انحراف لقيمة هذا التردد عن قيمة تردد الهيدروجين العادي المقابل له. وهذه هي النتيجة المتوقعة بالضبط، بناء على تناظر الشحن والتكافؤ، وانعكاس الزمن.

وهذه التجارب تواجهها عقبة كبرى تنشأ من حقيقة أنَّ ذرات الهيدروجين المضاد التي تُدرَس، وإنْ كانت أبطأ بفارق هائل من مثيلاتها الأولى التي أُنتِجَت قبل 25 عامًا، ما زالت تتحرك بعشوائية داخل المصيدة المغناطيسية بسرعات تبلغ 300 كيلومتر في الساعة. ويلزم وجود عينات من ذرات أبطأ لتحقيق دقة قياس أكبر، ولتسهيل التجارب المستقبلية المعنية بدراسة السقوط الحر للهيدروجين المضاد بتأثير قوى الجاذبية. وثمة مشكلات مشابهة تؤثر في بعض مقترحات تصميمات الحواسيب الكمية[6]، التي يجب أن تبقى فيها الأيونات المحتجزة شبه ساكنة، قبل أن يجري التلاعُب بها باستخدام أشعة الليزر لتخزين بِتات كمية من المعلومات.

صحيحٌ أنَّ بعض ذرات الهيليوم شبه المستقر ذي البروتونات المضادة، التي حلَّ فيها بروتون مضاد محل أحد إلكتروني ذرة الهيليوم، قد أُبطِئ ببساطة بغمره في



الشكل 1 | تبريد ذرات من الهيدروجين المضاد بتقنية دوبلر. احتجز بيكر وزملاؤه[1] ذرات من الهيدروجين المضاد – وهي أبسط الذرات المستقِرة المكونة من مادة مضادة خالصة – باستخدام مجالات مغناطيسية، حيث تتحرك هذه الذرات بسرعات عالية داخل هذه المصيدة. بعد ذلك، عرَّض واضعو الدراسة هذه الذرات لنبضات ليزرية فوق بنفسجية، جرى ضبط طولها الموجي بعناية. وهذه الذرات ونبضات الليزر ليست موضحة وفق مقياس رسم محدد. أ. تتعرض الذرات التي تتحرك نحو الليزر لتأثير دوبلر، الذي يُقصِّر الطول الموجي الظاهري للضوء الذي يتفاعل مع الذرات، ويناسِب هذا الطول الموجي تمامًا تحقيق طاقة الفوتونات التي يمكن أن تمتصها الذرات، فيُثير امتصاص الفوتونات الذرات، ويُبطئ حركتها (أي يبردها) في آنٍ واحد. ب. تتعرض الذرات التي تتحرك بعيدًا عن الليزر لتأثير معاكس لتأثير دوبلر، وهو ما يزيد قيمة الطول الموجي الظاهري لضوء الأشعة فوق البنفسجية. ولا تستطيع الذرات امتصاص الفوتونات عند هذا الطول الموجي، ولذا، يمر شعاع الليزر خلال الذرات، دون إحداث تسارُع غير مرغوب فيه.

غاز من مادة أبرد[7]، لكنَّ هذا النهج لن يكون عمليًّا عند تطبيقه على ذرات الهيدروجين المضاد، لأنها ستفنى فورًا في تفاعل بين المادة والمادة المضادة. وعلى النقيض من ذلك، تستطيع أشعة ضوء معينة أن تؤثر ميكانيكيًّا في المادة[8-13] والمادة المضادة، دون أن تُسبب فَناء المادة المضادة. ويبعث جهاز توجيه أشعة الليزر الحمراء أو الخضراء، الذي يُحمل باليد عادةً، ما بين 10^{15} و10^{16} فوتون ليزريّ في الثانية، لكنَّ زخم الحركة الذي قد يضفيه كل فوتون على الذرات يتسم بأنه ضئيل جدًّا إلى حدٍّ يُصعِّب رصد الضغط الذي يؤثر به هذا الضوء في الأجسام العادية المستخدمة في حياتنا اليومية. ومع ذلك، تُعَد كتلة الذَّرة الواحدة من ذرات الهيدروجين المضادة ضئيلة جدًّا (1.7×10^{-24} جرامًا) إلى حدِّ أن سرعتها يمكن أن تتغير بمقدار 12 كيلومترًا في الساعة كلما امتصت فوتونًا ليزريًّا ذا طول موجي يقع في نطاق الضوء فوق البنفسجي، ويبلغ 121.6 نانومتر.

وقد استخدم بيكر وفريقه البحثي في دراستهم الحالية ليزرًا ذا طول موجي جرى ضبطه بعناية، بحيث يجعل ذرات الهيدروجين المضاد المحتجزة التي تتحرك نحو الليزر هي فقط التي تمتص الفوتونات وتتباطأ (انظر الشكل 1). وتنشأ انتقائية الامتصاص هذه من تعرُّض الذرات لنوع من تأثير دوبلر[8,9]، وهو تأثير يُسبب - على ما يبدو - تحوُّل الطول الموجي لأشعة الليزر إلى قيم أصغر. وقد كان الطول الموجي الجديد مناسبًا تمامًا لتحقيق طاقة الفوتونات التي كانت مطلوبة لتمتص الذرات الفوتونات، وارتقى هذا الامتصاص بالذرات من حالتها القاعية إلى حالة مثارة. وبعد ذلك، عادت الذرات تلقائيًّا إلى الحالة القاعية بأنْ أطلقت فوتونًا آخر في اتجاه عشوائي. وقد لاحظ واضعو الدراسة أنَّ بضع عشرات من ظواهر الامتصاص هذه قد أبطأت جزءًا من الذرات في العينة إلى أقل من 50 كيلومترًا في الساعة. وهذا الانخفاض في السرعة يعني أنَّ الذرات قد أصبحت أبرد.

وعلى النقيض من ذلك، فالذرات التي تحركت بعيدًا عن الليزر تعرَّضت لتأثير معاكس لتأثير دوبلر: إذ بدا أن الطول الموجي للضوء ابتعد عن القيم اللازمة لامتصاص الذرات للفوتونات. ولذا، مرَّ الضوء خلال الذرات المبتعدة مباشرة، متفاديًا بذلك تعريضها لتسارُع غير مرغوب فيه. وفور أن بلغت ذرات الهيدروجين المضاد البرودة المناسِبة، عرَّضها واضعو الدراسة لزوج من شعاعَي ليزر ينتقلان في اتجاهين متعاكسين، من أجل إثارة انتقال إلكتروني معين من مستوى طاقة إلى آخر في الذرات. وبسبب السرعة المنخفضة للذرات، كان الخط الذي يعبر عن هذا الانتقال في الطيف الذري أكثر وضوحًا بأربعة أضعاف من ذاك الذي رُصِد عند استخدام ذرات دون تبريدها بالليزر. وسيسمح هذا للباحثين بإجراء مقارنات مستقبلية بين هذه الانتقالات المميَّزة في مستويات طاقة ذرات الهيدروجين، وذرات الهيدروجين المضاد بدقة أعلى مما أمكن في السابق.

وأحد أوجه قصور الطريقة المذكورة هو صعوبة توليد ضوء ليزري طوله الموجي 121.6 من النانومتر بكثافة كافية لتبريد ذرات الهيدروجين المضاد بفاعلية. وقد استخدم بيكر وفريقه البحثي سلسلة من نبضات ليزرية متتالية، يقع متوسط طاقتها في نطاق النانو وات، وهو ما يعني أنَّ كل ذَرَّة احتاجت إلى ساعات عديدة لامتصاص عشرات الفوتونات التي كانت لازمة لإحداث تبريد كبير وملحوظ. لذا، يخطط واضعو الدراسة لزيادة طاقة الليزر التي استخدموها في التجارب المستقبلية من أجل تسريع العملية. وثمة نهج آخر يُمكن اتباعه، يتمثل في استخدام أشعة ليزر متصلة[14]، بدلًا من النبضات المتقطعة.

وأخيرًا، وبالنظر إلى أنَّ التبريد بالليزر يُسفر عن زيادة تركيز الذرات الأبطأ عند أقل قيمة لشدة المجال المغناطيسي في مصيدة الذرات المتعادلة، فقد يسمح بإنتاج سُحُب من الهيدروجين المضاد أشد كثافة ممَّا هو ممكن حاليًّا. وهذا سيضفي مزيدًا من التحسن على دقة قياسات هذا الهيدروجين في التجارب المستقبلية.

ماساكي هوري يعمل في قسم التحليل الطيفي بالليزر بمعهد ماكس بلانك للبصريات الكمية، في جارشينج D-85748، ألمانيا.
البريد الإلكتروني: masaki.hori@mpq.mpg.de

1. Baker, C. J. *et al. Nature* **592**, 35–42 (2021).
2. Baur, G. *et al. Phys. Lett. B* **368**, 251–258 (1996).
3. Andresen, G. B. *et al. Nature* **468**, 673–676 (2010).
4. Gabrielse, G. *et al. Phys. Rev. Lett.* **108**, 113002 (2012).
5. Ahmadi, M. *et al. Nature* **557**, 71–75 (2018).
6. Lanyon, B. P. *et al. Science* **334**, 57–61 (2011).
7. Hori, M. *et al. Science* **354**, 610–614 (2016).
8. Wineland, D. J. & Dehmelt, H. G. *Bull. Am. Phys. Soc.* **20**, 637 (1975).
9. Hänsch, T. W. & Schawlow, A. L. *Opt. Commun.* **13**, 68–69 (1975).
10. Setija, I. D. *et al. Phys. Rev. Lett.* **70**, 2257–2260 (1993).
11. Chu, S. *Rev. Mod. Phys.* **70**, 685–706 (1998).
12. Cohen-Tannoudji, C. N. *Rev. Mod. Phys.* **70**, 707–719 (1998).
13. Phillips, W. D. *Rev. Mod. Phys.* **70**, 721–741 (1998).
14. Eikema, K. S. E., Walz, J. & Hänsch, T. W. *Phys. Rev. Lett.* **86**, 5679–5682 (2001).

فيزياء الجسيمات

جدل مثير حول قيمة العزم المغناطيسي للميون

هارفي بي. ماير

أُفيد باكتشاف طريقة جديدة مستنِدة إلى المبادئ الأولى لحساب مدى التأثير الذي يخلق أغلب أوجه عدم اليقين التي تشوب حسابات العزم المغناطيسي لجسيم الميون. وقد تحل هذه النتائج لغزًا لطالما استعصى على الحل، لكنها تصنع معضلة أخرى.

يُطلَق على النظرية الراسخة لفيزياء الجسيمات النموذج القياسي، وقد اجتازت عددًا هائلًا من الاختبارات التجريبية بنجاح باهر، بيد أن أحد هذه الاختبارات – وهو اختبار تحديد العزم المغناطيسي لجسيم أوّلي يعرف باسم الميون – أسفر عن تناقض ظل قائمًا لأمد طويل بين النظرية ونتائج التجارب. وعدم اليقين في التنبؤات النظرية في هذا الشأن تحكمه تمامًا القوى المؤثرة في تفاعُل العزم المغناطيسي القوي ذاك، وهي تأثيرات تشكِّل القوة الأساسية التي تربط مكونات النوى الذرية، غير أنه في بحث نُشر مؤخرًا في دورية *Nature*، أفاد زابولكس بورساني وفريقه البحثي[1] باكتشاف طريقة لحساب قيمة المؤثر الأكبر بين هذه القوى المؤثرة بدقة، وهي طريقة تسفر عن نتيجة تتفق مع القياس التجريبي للعزم المغناطيسي للميون. وباستخدام هذه القيمة، أظهر الفريق البحثي أن العزم المغناطيسي الذي يتنبأ به النموذج القياسي يتفق مع القياسات التجريبية، إلا أنّ الفريق وجد، في الوقت نفسه، تضاربًا متوسطًا بين نتائجه، والقيم التي حُددت في السابق لتأثير هذا التفاعل القوي. وتستند تلك القيم التي حُدِّدت سالفًا إلى منهجية مختلفة عن تلك التي استخدمها بورساني وفريقه البحثي، ويُنظر إليها على نطاق واسع على أنها تستند إلى أرضية صلبة.

وجدير بالذكر أنه على الرغم من النجاحات العديدة التي حققها النموذج القياسي لفيزياء الجسيمات، إلا أنه تشوبه أوجه قصور جليّة: فهو لا يفسر دور الجاذبية، وليس به جسيم يُحتمل أن يفسِّر الكمية الهائلة من المادة المظلمة في الكون، التي لا يمكن ملاحظتها إلا بصورة غير مباشرة. ويستكشف الفيزيائيون حاليًّا عدة مسارات بحثية، بغرض اكتشاف الجسيمات والقوى التي ربما تقع خارج نطاق النموذج القياسي. وتشمل جهودهم في ذلك الصدد إجراء عمليات بحث مباشر عن جسيمات جديدة، من خلال مصادم الهادرونات الكبير في منظمة "سيرن"، المختبر الأوروبي لفيزياء الجسيمات، الواقع بالقرب من جنيف في سويسرا، فضلًا عن إجراء التجارب المخصصة لاكتشاف المادة المظلمة. وتتمثل استراتيجية راسخة أخرى في القياس الدقيق للكميات التي يمكن حسابها باستخدام النموذج القياسي إلى درجة من الدقة مماثلة لتلك الخاصة بالقياسات التجريبية. وأي اختلافات في القيم المقاسة والمحسوبة ستشير إلى وجود خواص فيزيائية لم تؤخذ في الحسبان في النموذج القياسي.

ومن الأمثلة البارزة لهذه الكميات: العزوم المغناطيسية للجسيمات الأولية. وهي تتناسب مع اللف المغزلي (الزخم الزاوي الأصيل) للجسيم، ومع مُعامل المغناطيسية الدورانية للجسيم (يُرمز إليه بالرمز "جي" g، وهو ثابت تناسُب معين يميز كل نوع من أنواع الجسيمات). وقد أظهر بول ديراك في عام 1928، من خلال نظرية النسبية الكمية للإلكترون[2] التي وضعها، أن قيمة "g" تساوي 2 للإلكترون، وهو ما كان تقديرًا تقريبيًّا ممتازًا في ذلك الوقت. ومع ذلك، فإن القيمة الفعلية لـ"g" تختلف عن 2 بفرق ضئيل يسمى العزم المغناطيسي الشاذ، الذي تم تقديره بأنه يساوي $(g-2)/2$. وينشأ هذا الاختلاف لأن العزم المغناطيسي يتأثر بنسخ "افتراضية" من جسيمات أولية، تظهر باستمرار وتختفي في الفراغ. وفي عام 1947، قام عالِم الفيزياء النظرية جوليان شفينجر بحساب[3] قيمة نسبة العزم المغناطيسي الشاذ للإلكترون المهمة، ويُعَبَّر عنها بالمعادلة $\alpha/(2\pi)$، حيث "α" هو ثابت أساسي يُعرف بثابت البِنْية الدقيقة.

وللإلكترونات أبناء عمومة تسمى الميونات، هي أثقل بمقدار 207 أضعاف منها. ويعني تزايُد كتلة الميون أن قياس قيمة العزم المغناطيسي الشاذ له سيتأثر بالوجود العابر لأي جسيمات افتراضية ثقيلة لم يصفها النموذج القياسي بدرجة أكبر بكثير من قياسات قيمة هذا العزم في حال الإلكترونات، بيد أنه بعد عقود من التحسينات، قدمت تجربة "إي 821" E821 في مختبر بروكهايفن الوطني في مدينة أبتون، في ولاية نيويورك الأمريكية، قياسات[4] للعزم المغناطيسي الشاذ للميون، تصل إلى دقة مذهلة تبلغ 0.54 جزء في المليون.

وقد بُذلت في مجال الفيزياء النظرية لعقود جهود مثيرة للإعجاب بالقدر نفسه تهدف إلى مضاهاة دقة التجارب الرائعة في حساب العزم المغناطيسي الشاذ المتوقع على أساس النموذج القياسي. وقد لخص تقرير رسمي[5] نُشر في عام 2020 ما وصلت إليه هذه الجهود، حيث أفاد بأن دقة قياس العزم المغناطيسي الشاذ بلغت 0.37 جزء في المليون، لكنْ تَبَيَّن أن قيمته التي جرى التوصل إليها كانت أصغر قليلًا من القيمة التي خلصت إليها التجارب، بانحراف معياري قيمته 3.7.

وهذا التخبط في التنبؤات النظرية لقيمة العزم المغناطيسي الشاذ للميون تحركه تأثيرات الهادرونات، وهي جسيمات مركَّبة، تُرابط بينها القوة النووية الشديدة، ومن الأمثلة على هذه الجسيمات: البروتون، والنيوترون. وقد أفاد تقرير رسمي بأنه جرى التوصل إلى حصة التأثير الأهم في قيمة العزم المغناطيسي الشاذ[5]، الذي تسهم به الهادرونات، وذلك من صيغة رياضية تُعرف باسم علاقة التشتت، باستخدام معدلات تكوين الهادرونات المقاسة كمدخلات في التجارب التي تصطدم فيها الإلكترونات بالبوزيترونات، وهي الجسيمات المضادة للإلكترونات.

وثمة طريقة مختلفة لحساب نسبة تأثير الهادرونات في قيمة العزم المغناطيسي الشاذ، اقتُرِحت لأول[6] مرة في عام 2003، وهي استخدام الديناميكا اللونية الكمية الشبكية، وهي طريقة تستند إلى المبادئ الأولى للتحكم في القوة النووية الشديدة، وتعتمد على الحوسبة عالية الأداء. وقد تسارعت وتيرة تحسين حسابات الديناميكا اللونية الكمية الشبكية إلى حد كبير في السنوات القليلة الماضية، نتيجة لجهود متفانية، وعدة تطورات أخرى شهدتها المنهجيات الحسابية (جرى استعراضها في المرجع 7). وتُعَد دراسة بورساني وفريقه البحثي بمثابة الخطوة الأخيرة نحو تقليل قدر عدم اليقين في الحسابات المستندة إلى الديناميكا اللونية الكمية الشبكية في هذا المجال إلى مستوى يجعل هذه الحسابات تنافِس علاقات التشتت من حيث انخفاض مقدار عدم اليقين في القيم المحددة بناءً عليها.

ومن المثير للاهتمام أنه عندما استخدم بورساني وزملاؤه حساباتهم للتنبؤ بقيمة العزم المغناطيسي الشاذ، كانت النتيجة التي حصلوا عليها متوافِقة مع القيمة المكتشَفة في تجربة "إي 821" (الشكل 1)، غير أن النتيجة التي توصلوا إليها كانت مختلفة كذلك بانحراف معياري متوسط مقداره 2.2 عن قيمة العزم المغناطيسي الشاذ المذكورة في التقرير الرسمي سالف الذكر[5]، التي جرى تحديدها باستخدام علاقات التشتت، وهي نتيجة تستحق بالتأكيد مزيدًا من التدقيق.

ويُعَد تناوُل بورساني وفريقه البحثي بصورة شاملة للعديد من التأثيرات التي تؤثر في قيمة العزم المغناطيسي الشاذ، وبهذه الدقة التي أُفيد بها، إنجازًا مثيرًا للإعجاب. وكما هو معتاد في إطار الديناميكا اللونية الكمية الشبكية، يتم حساب الكمية محل الدراسة عن طريق تقسيم الزمان والمكان إلى شبكة من النقاط، ثم حساب مقدار عدة قيم في التباعد الشبكي، ثم الاستعانة بالاستقراء، لتحديد قيمة الكمية عندما يكون التباعد صفرًا (تُعرف هذه القيمة بحد الاستمرارية). وقد تَبين في نتائج واضعي الدراسة أن منهجية الوصول إلى حد الاستمرارية هي المصدر الرئيس لأوجه عدم اليقين. ومن المتوقع أن تخدم الحسابات المستمرة التي تجريها الفرق البحثية الأخرى باستخدام متغيرات مختلفة في الديناميكا اللونية الكمية الشبكية كوسيلة مهمة للتحقق من مدى اتساق النتائج الحالية.

"يُعَد تناوُل بورساني وفريقه البحثي بصورة شاملة للعديد من التأثيرات التي تؤثر في قيمة العزم المغناطيسي الشاذ، وبهذه الدقة التي أُفيد بها، إنجازًا مثيرًا للإعجاب".

ومنذ عام 2018، يجري تعاون "ميون جي-2" تجربة في مختبر مسرِّع فيرمي الوطني (فيرميلاب) بالقرب من شيكاجو، في ولاية إلينوي الأمريكية، للتحقق من نتائج تجربة "إي 821"، وتحسين دقة نتائجها. وقد أُعلِن عن النتيجة الأولى[8] للتجربة في السابع من إبريل الماضي، حيث اتفقت قيمة العزم المغناطيسي الشاذ التي أُفيد بها مع القيمة المستقاة من تجربة "إي 821". وفضلًا عن ذلك، عند الجمع بين القياسات التجريبية كافة، يتزايد التضارب مع التنبؤات النظرية المذكورة في التقرير الرسمي[5] إلى حد الوصول إلى انحراف معياري، قيمته 4.2. وقد مَثَّل هذا الإعلان لحظة مثيرة للاهتمام حقًّا لعلماء فيزياء الجسيمات، لأن وجود انحراف معياري بين نتائج التجربة والنظرية مقداره 5.0 يُعد بصفة عامة دليلًا قاطعًا على اكتشاف خواص فيزيائية لم تأخذها النظرية في الحسبان.

ولكنَّ قيمة العزم المغناطيسي الشاذ المستنبطة من حسابات بورساني وزملائه تتفق مع المتوسط التجريبي الجديد. لذلك، فإن الأولوية القصوى في المستقبل هي تفسير التضارب بين النتيجة التي حصل عليها بورساني وفريقه البحثي، ونتيجة نظرية التشتت الواردة في التقرير الرسمي. وفي غضون القليل من السنوات، من المتوقع[9] أن تزداد دقة تجربة "ميون جي-2" إلى حوالي أربعة أضعاف دقة تجربة "إي 821"، وسيتم إجراء قياسات دقيقة[10] مماثلة في مجمع أبحاث مسرّع البروتونات الياباني "جيه-بارك" J-PARC بالقرب من توكاي، باستخدام تقنية مختلفة تمامًا لتحديد قيمة العزم المغناطيسي الشاذ. ويلوح في الأفق الآن المزيد من الإثارة.

تجربة "إي 821" في بروكهايفن
التنبؤ النظري في عام 2020
التنبؤ النظري على أساس ورقة بورساني وزملائه
قياس مختبر مسرِّع فيرميلاب
متوسط تجريبي
116,591,800
116,591,900
116,592,000
116,592,100
$(g-2)/2\ (\times 10^{-11})$

الشكل 1 | تحديد العزم المغناطيسي لجسيم الميون. العزم المغناطيسي للميون يقارب العدد[2]، لكنه لا يساويه. وتُقدَّر قيمة الفرق بمعادلة تُعرف باسم 2 / (g-2). وفي عام 2006، نُشر قياس[4] لقيمة هذا الفرق، حُدد في تجربة "إي 821" في مختبر بروكهايفن الوطني في مدينة أبتون في ولاية نيويورك الأمريكية. كما نُشر[5] تنبؤ نظري متفق عليه في عام 2020. وقد أورد بورساني وفريقه البحثي الآن حسابات تجعل التنبؤ النظري أقرب بكثير إلى قياس تجربة "إي 821". كما تم كذلك نشر قياس[8] لقيمة الفرق 2 / (g-2) في مختبر مسرِّع فيرمي الوطني (فيرميلاب) بالقرب من مدينة شيكاجو، في ولاية إلينوي الأمريكية، في وقت سابق من هذا العام، وهو يتوافق مع قيمة تجربة "إي 821". ويختلف متوسط جميع القياسات التجريبية بانحراف معياري مقداره 4.2 عن التنبؤ الذي جرى الإجماع عليه في عام 2020. ومن شأن وجود فَرْق بين القيم النظرية والتجريبية، يُقدر بانحراف معياري قيمته 5.0، أن يثبت وجود خواص فيزيائية لم يأخذها النموذج القياسي لفيزياء الجسيمات في الحسبان.

هارفي بي. ماير يعمل في معهد الفيزياء النووية بجامعة يوهانس جوتنبرج في ماينتز، D-55099 ماينتز، ألمانيا.
البريد الإلكتروني: meyerh@uni-mainz.de

1. Borsanyi, Sz. *et al. Nature* **593**, 51–55 (2021).
2. Dirac, P. A. M. *Proc. R. Soc. Lond. A* **117**, 610–624 (1928).
3. Schwinger, J. *Phys. Rev.* **73**, 416–417 (1948).
4. Bennett, G. W. *et al. Phys. Rev. D* **73**, 072003 (2006).
5. Aoyama, T. *et al. Phys. Rep.* **887**, 1–166 (2020).
6. Blum, T. *Phys. Rev. Lett.* **91**, 052001 (2003).
7. Meyer, H. B. & Wittig, H. *Prog. Part. Nucl. Phys.* **104**, 46–96 (2019).
8. Abi, B. *et al. Phys. Rev. Lett.* **126**, 141801 (2021).
9. Grange, J. *et al.* Preprint at https://arxiv.org/abs/1501.06858 (2015).
10. Abe, M. *et al. Prog. Theor. Exp. Phys.* **2019**, 053C02 (2019).

كيمياء حيوية

تشابُك بروتيني أغفلته الدراسات

ديبورا فاس، وسيرجي إن. سمينوف

تعمل تشابكات جزيئية تُعرف باسم روابط ثنائي الكبريتيد على استقرار البنى ثلاثية الأبعاد للعديد من البروتينات، كما تعمل أحيانًا على تنظيم وظائف هذه البروتينات، بيد أنها ليست وحدها التي تلعب هذا الدور؛ فقد اكتُشِفَ نوع آخر من التشابكات البروتينية التنظيمية.

تعتمد الخصائص المميِّزة لأشكال البروتينات ووظائفها على ترتيب الأحماض الأمينية التي تكوِّن هذه البروتينات في سلاسل، غير أنه غالبًا ما تطرأ تعديلات كيميائية أخرى عليها بعد ارتباط الأحماض الأمينية ببعضها البعض. ومن بين هذه التعديلات تشابكات تتكوّن بين بعض بقايا الأحماض الأمينية. والنوع الأكثر شيوعًا من تلك التشابكات هو رابطة ثنائي الكبريتيد، التي تتألف من ذَرَّتي كبريت متصلتين عبر رابطة تساهمية. وفي هذا البحث المنشور، يشير ماري وينزين وفريقه البحثي[1] إلى وجود نوع مختلف تمامًا من التشابكات البروتينية؛ وهو نوع تقوم فيه ذرة أكسجين بالربط بين ذرّة نيتروجين، وذرة كبريت. وإضافة إلى ذلك، يقدم الباحثون دليلًا على أن هذه الجسور التي تربط بين النيتروجين، والأكسجين، والكبريت أغفلتها التحليلات البنيوية السابقة لبروتينات أخرى.

كان وينزين وزملاؤه يدرسون إنزيم ترانسالدولاز transaldolase في بكتيريا النيسرية البنْية *Neisseria gonorrhoeae*، وهي بكتيريا تسبب مرض السيلان الذي ينتقل عن طريق الاتصال الجنسي. ولاحظ الباحثون أن هذا الإنزيم النقي يكاد يكون غير نشط، لكنْ يمكنه استعادة نشاطه بواسطة عوامل اختزال تُستخدم عادةً لكسر روابط ثنائي الكبريتيد.

وجدير بالذكر أنه لتشكيل ثنائي الكبريتيد، لا بد أن تتقارب مكانيًّا السلاسل الجانبية لاثنتين من بقايا حمض السيستين الأميني، التي قد تكون متباعدة على طول هذه السلسلة البروتينية. وبعد أن لاحظ الباحثون أن إنزيم ترانسالدولاز يحتوي على بعض من بقايا السيستين، استنتجوا أن اثنتين من هذه البقايا قد تشكلان رابطة ثنائي الكبريتيد التي تعمل على تثبيط الإنزيم، لكن عندما قاموا باستبدال كل واحدة من بقايا السيستين هاتين على حدة، واستعاضوا عنها بحمض أميني آخر، وجدوا أن واحدًا فقط من الإنزيمات الطافرة الناتجة هو الذي يقاوم تثبيطه. ولو أن الإنزيم كان يحتوي بالفعل على رابطة ثنائي الكبريتيد المثبِّطة، فسيكون من المتوقع أن يؤدي استبدال أي واحدة من بقايا السيستين إلى إحداث هذا التأثير المقاوِم للتثبيط (على الرغم من وجود بعض الاستثناءات لهذا التعميم البسيط[2]). فما الذي يحدث إذَن؟

تمكَّن وينزين وزملاؤه من حل اللغز باستخدام تقنية تصوير البلورات بالأشعة السينية، لتحديد بِنْية إنزيم ترانسالدولاز بدقة ذرية. وقد كشف هذا التحليل عن نشوء رابطة تساهمية بين بقايا السيستين واللايسين، وهي رابطة تتمثل في جسرٍ من ذرات النيتروجين، والأكسجين، والكبريت، وذلك بدلًا من تكوّن رابطة ثنائي الكبريتيد من اثنتين من بقايا السيستين (الشكل 1). وكان من المثير للاهتمام أن ذرة الأكسجين في جسر النيتروجين، والأكسجين، والكبريت لا تنشأ من المجموعات في السلاسل الجانبية الموجودة في كل من بقايا السيستين واللايسين (تحتوي السلسلة الجانبية للسيستين على مجموعة ثيول (SH)، في حين تحتوي السلسلة الجانبية للايسين على مجموعة أمين (NH_2))، بل لاحظ الباحثون وجود جزيء أكسجين بالقرب من هذه السلاسل الجانبية في البنية البلورية للشكل المختزل من إنزيم ترانسالدولاز (أي الذي يفتقر إلى هذا التشابك). وتدعم هذه الملاحظة الاستنتاج المنطقي للباحثين بأن جزيء الأكسجين يسهم بذَرّة أكسجين في جسر النيتروجين، والأكسجين، والكبريت.

> **"ثمة لغز ميكانيكي آخر، يتمثل في كيفية تأثير هذا التشابك على النشاط الإنزيمي. فبِنْية الموقع الحفاز في إنزيم ترانسالدولاز الذي يحتوي على هذا التشابك تختلف اختلافًا بسيطًا فحسب عن بِنْية نسخة الإنزيم التي لا تحوي هذا التشابك".**

ويُعد اكتشاف جسر كهذا في البروتينات جديرًا بالاهتمام، لأن التفاعلات غير البيولوجية التي تنتج مثل هذا النمط الجزيئي ما تزال غير معروفة حتى الآن، رغم أنه قد يُوجَد استثناء لذلك، يتمثل في جزيء واحد (هو نوع من المركبات العطرية الحلقية[3]). ويتطلب تكوين رابطة النيتروجين، والأكسجين في كيمياء الجزيئات الصغيرة ظروف أكسدة قوية[4]، لكن من المرجح أيضًا أن تؤدي هذه الظروف إلى انتقال ذرات الكبريت إلى حالات أكسدة أعلى من تلك التي وُجدت عليها داخل جسر النيتروجين، والأكسجين، والكبريت. وإضافة إلى ذلك، فقد تكون الجزيئات الصغيرة التي تحتوي على جسر النيتروجين، والأكسجين، والكبريت معرضة لخطر أن يطرأ عليها تفاعُل عدم تناسب؛ وهي عملية يتفاعل فيها اثنان من الجزيئات من النوع نفسه مع بعضهما البعض، ويكون الناتج مختلفًا. وفي سياق البروتينات، قد يساعد التموضع المناسب لثيول السيستين، وأمين اللايسين، وجزيء الأكسجين على حدوث الأكسدة اللازمة لتكوين جسر النيتروجين، والأكسجين، والكبريت، في الوقت الذي قد تعمل فيه القيود المكانية (الفراغية) التي تفرضها البِنْية البروتينية المحيطة على استقرار هذا التشابك، ومنع المزيد من أكسدة الكبريت.

ويحاول الباحثون التكهُّن بالآليات المحتملة لتشكيل هذا الجسر، ويرجِّحون حدوث تفاعل تُضاف فيه مجموعات الهيدروكسيل (OH) إلى كل من ذرّة الكبريت في السيستين، والمجموعة الأمينية في السلسلة الجانبية للايسين (انظر البيانات الموسعة في الشكل 3ب في المرجع 1). وبالنظر إلى حداثة اكتشاف تشابك جسر النيتروجين، والأكسجين، والكبريت هذا، وتركيز الدراسة على البيولوجيا البنيوية، فما زال من الواجب دراسة التفاصيل المهمة للآلية الكيميائية المؤدية إلى هذا التشابك؛ لا سيما أنه لم يتسن توصيف الطريقة التي يجري بها تنشيط جزيء الأكسجين للمشاركة في هذا التفاعل. والعديد من التفاعلات الكيميائية مع الأكسجين الجزيئي تشتمل على جذور حرة[5]، ولذا، تنبغي دراسة مسارات الجذور الكيميائية بوضوح في آليات تكوين جسر النيتروجين، والأكسجين، والبروتين.

وثمة لغز ميكانيكي آخر، يتمثل في كيفية تأثير هذا التشابك على النشاط الإنزيمي. فبِنْية الموقع الحفاز في إنزيم ترانسالدولاز الذي يحتوي على هذا التشابك تختلف اختلافًا بسيطًا فحسب عن بِنْية نسخة الإنزيم التي لا تحوي هذا التشابك. وهكذا، فإن الكيفية التي يؤدي بها تكوين جسر النيتروجين، والأكسجين، والكبريت إلى تثبيط التحفيز ليست واضحة للعلماء حتى الآن. وقد ركَّز واضعو الدراسة انتباههم على هذه الاختلافات البنيوية الطفيفة، لكنهم لاحظوا أيضًا أن إنزيم ترانسالدولاز الذي يحتوي على هذا التشابك أكثر مقاوَمة لمحاولات فك طياته بتأثير التحفيز الحراري، مقارنة بالنسخة التي تفتقر إلى هذا التشابُك. ولا تُعَد هذه النتيجة مفاجئة، وهي تعني أن الإنزيم ذا التشابك

الشكل 1 | تكوين جسر بين اثنتين من بقايا الأحماض الأمينية للايسين، والسيستين. أشار ماري وينزين وفريقه البحثي[1] إلى أن إنزيم ترانسالدولاز لبكتيريا النيسرية البنية *Neisseria gonorrhoeae* يحتوي على تشابك جزيئي، تقوم فيه ذَرّة أكسجين ببناء جسر بين ذَرّة نيتروجين في السلسلة الجانبية لبقايا الحمض الأميني اللايسين، وذَرّة كبريت في السلسلة الجانبية لبقايا حمض السيستين الأميني. وينوِّه الباحثون إلى أن جسور النيتروجين، والأكسجين، والكبريت هذه تتشكل عن طريق تفاعل السلاسل الجانبية مع جزيء أكسجين (O_2). وعادةً ما يكون نمط الجسر في حالة غير مستقرة، ويُفترَض أن تعمل بِنْية البروتين المحيطة على استقراره، غير أنه يمكن كسره بواسطة عوامل اختزال. وتمثل الكرات في الشكل أجزاءً أخرى من الجزيء البروتيني.

تطرأ عليه عندئذ تغيرات بنيوية أقل من التي يمكن أن تؤدي إلى فك طياته. وقد تكون ثمة حاجة إلى تغيرات تحدث على نطاق أصغر من أجل بدء النشاط الحفزي، وقد يقيِّدها وجود هذا التشابك.

وثمة اختلاف مفاهيمي أساسي بين استخدام روابط ثنائي الكبريتيد لتنظيم وظائف هذا الإنزيم، واستخدام جسر النيتروجين، والأكسجين، والبروتين لذلك؛ فتكوين روابط ثنائي الكبريتيد قابل لعكسه كيميائيًّا، وهذا يعني أن روابط ثنائي الكبريتيد، في الأنظمة البيولوجية، كثيرًا ما تتكون وتنكسر في تفاعلات "تبادلية" مع جزيئات أخرى تحتوي على ثنائي الكبريتيد أو الثيولات. وعلى النقيض من ذلك، تتكون رابطة النيتروجين، والأكسجين، والكبريت بآلية كيميائية مختلفة عن تلك التي تتكسر بها؛ ويعني هذا أن الأكسجين الجزيئي يُستخدم في تكوين الجسر، ولكنه لا يُفرز عند تكسُّر الجسر.

وإضافة إلى ذلك، تشير الخواص الديناميكية الحرارية بهذه التفاعلات إلى أنه يصعب تشكيل جسر النيتروجين، والأكسجين، والكبريت، ولكن يسهل كسره. لذا، ربما يكون هذا التشابُك قد تطور لتمكين التنشيط الانتقائي للإنزيم في ظل ظروفٍ جرى فيها الحفاظ على روابط ثنائي الكبريتيد. ويمكن الآن استكشاف المزايا الفريدة التي تتحقق بجسر النيتروجين، والأكسجين، والكبريت، وكذلك السيناريوهات البيولوجية التي يكون فيها أكثر فائدة من رابطة ثنائي الكبريتيد.

إنّ اكتشاف رابطة بروتينية جديدة له تداعيات لا تقتصر على خصائص الإنزيم الخاضع للدراسة، أو على تشابك جسر النيتروجين، والأكسجين، والبروتين ذاته. وربما كان من المثير للدهشة أن مهمة إنشاء نماذج بنيوية للبروتينات تكون أكثر صعوبة أحيانًا عندما تتوفر بيانات الأشعة السينية عالية الدقة، ففي وسط صخب البيانات منخفضة الدقة قد يختفي التبايُن في تكوين البروتينات أو تركيبها الكيميائي، في حين أن هذا التبايُن يصبح مرئيًّا عند توفر البيانات عالية الدقة، وبالتالي يجب تفسيره[6]. وقد تكون ثمة مجموعات كيميائية غير متوقعة أيضًا تلعب أدوارًا لا تبرزها البيانات. ومن شأن دراسة وينزين وزملائه أن تلهم علماء الأحياء البنيوية لدراسة الانحرافات عن التوقعات في خرائط كثافة الإلكترونات للجزيئات الحيوية.

ولطالما حظيت الإنزيمات بالتقدير، بوصفها أفضل أدوات إحداث التفاعلات الكيميائية، لأن بإمكانها تحفيز تفاعلات يستحيل حدوثها في حال غيابها. وتُظْهِر نتائج هذه الدراسة أن كيمياء الروابط التساهمية التي تشهدها الإنزيمات نفسها يمكن أيضًا أن تنافي بديهيات الكيمياء.

ديبورا فاس تعمل في قسم البيولوجيا الكيميائية والبنيوية بمعهد وايزمان للعلوم، رحوفوت 7610001، إسرائيل.

سيرجي إن. سمينوف يعمل في قسم الكيمياء الجزيئية وعلوم المواد بمعهد وايزمان للعلوم.

البريد الإلكتروني لكل منهما: deborah.fass@weizmann.ac.il؛ sergey.semenov@weizmann.ac.il

1. Wensien, M. *et al. Nature* **593**, 460–464 (2021).
2. Mor-Cohen, R. *Antioxid. Redox. Signal.* **24**, 16–31 (2016).
3. Hassan, A., Ibrahim, Y. R. & Shawky, A. M. *J. Sulfur Chem.* **28**, 211–222 (2007).
4. Challis, B. C. & Butler, A. R. in *The Chemistry of the Amino Group* (ed. Patai, S.) Ch. 6 (Interscience, 1968).
5. Sawyer, D. T. *Oxygen Chemistry* Ch. 5–6 (Oxford Univ. Press, 1991).
6. Lang, P. T. *et al. Protein Sci.* **19**, 1420–1431 (2010).

علم النفس

لماذا نفضّل الإضافة على الحذف عند حلّ المشكلات؟

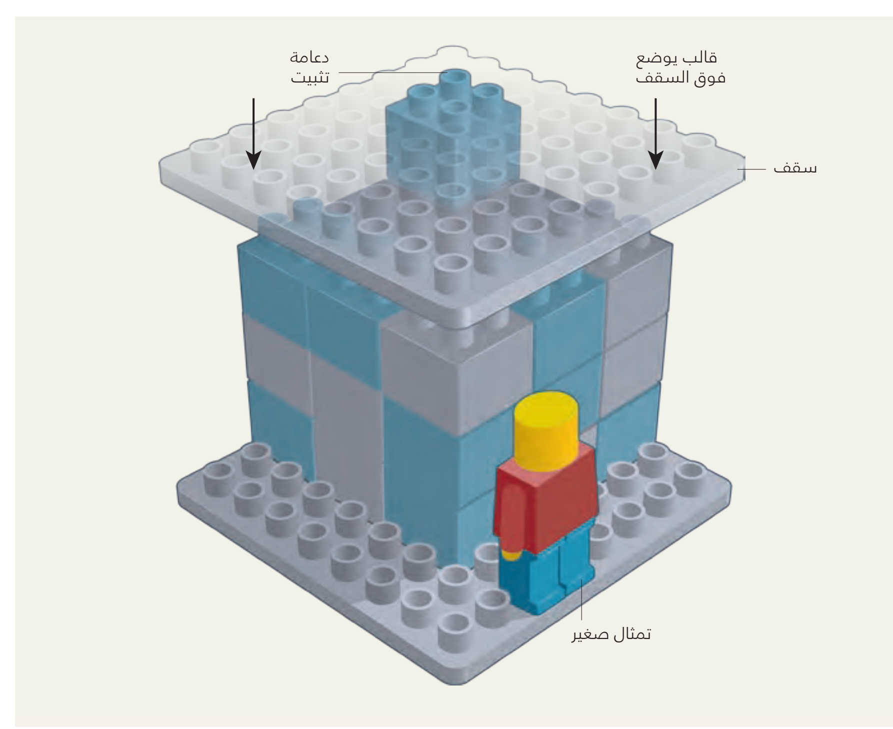
توم ميفيس، وهيبونج يون

أوضحت مجموعة من التجارب الهادفة إلى تحليل طُرُق حلّ المشكلات أن الأفراد يميلون إلى الحلول التي تُضيف خصائص أو أوضاعًا جديدة، أكثر من الحلول التي تحذف أو تُلغي أوضاعًا قائمة، حتى عندما يكون قرار الإلغاء أكثر فاعلية.

انظر إلى الشكل (1)، الذي يُظهر هيكلًا من المكعَّبات، وقد وُضع فيه تمثال صغير أسفل سقفٍ يرتكز على عمودٍ واحدٍ في أحد أركانه، وتَفكَّر فيه مليًّا. كيف يمكنك تعديل هذا الهيكل بحيث تستطيع وضع قالب من الطوب فوقه دون أن يهوي السقف فوق التمثال، علمًا بأن كلّ قطعة من المكعَّبات ستكلِّفك 10 سنتات؟ إذا اتَّبعتَ في التفكير نفس المنهج الذي اتبعه أغلب المشاركين في الدراسة التي أجرتها الباحثة جابرييل آدامز وزملاؤها[1]، فسوف تضيفُ أعمدةً أخرى لتدعيم السقف. أما الحلّ الأبسط (والأقل تكلفة) فيتمثل في إزالة العمود الحالي، ليستقر السقف فوق القاعدة. وعبر سلسلة من التجارب المشابهة، لاحظ الباحثون أن الأفراد يفكّرون دومًا في التغييرات التي "تضيف" عناصر جديدة، بدلًا من التغييرات التي تحذف أو تلغي عناصر قائمة؛ وهي نزعةٌ لها انعكاسات كثيرة على عملية اتخاذ القرارات في حياتنا اليومية.

على سبيل المثال، أقدمَت الباحثة وفريقها على تحليل بيانات أرشيفية، ولاحظوا أنه عندما طلب رئيسٌ جديدٌ لإحدى الجامعات التقدُّم باقتراحات لإدخال تعديلات من شأنها أن تخدم طلبة الجامعة ومجتمعها، ذهبَت 11% فقط من المقترحات إلى إلغاء لائحة، أو برنامج قائم، أو إحدى الممارَسات المتَّبعة داخل الجامعة. وبالمثل، عندما طلب المؤلفون من المشاركين في الدراسة تكوين شبكة متناظرة، أبعادها 10X10 من المكعبات الخضراء والبيضاء، لجأ المشاركون في الأغلب إلى إضافة مربعات خضراء إلى نصف الشبكة الأقل امتلاءً، بدلًا من خَصمها من النصف الأكثر امتلاءً، رغم أن الحذف هو الوسيلة الأكفأ في هذه الحالة.

وفي تفسير قلة الحلول التي تعتمد على الحَذف، من بين الحلول التي اقترحها المشاركون، أوضحت آدامز



الشكل 1 | تحسين ثبات هيكل من المكعّبات. في هذا الهيكل المبني من المكعبات، يظهر السقف مدعومًا بعمود في أحد أركان البناء. وعندما يوضع قالب بناء على السقف، سيسقط السقف فوق التمثال الصغير. طلبت آدامز وزملاؤها[1] من المشاركين في الدراسة أن يتقدموا بمقترحات من شأنها تحقيق التوازن لهذا البناء، بحيث يدعم القالب فوق التمثال الصغير، وحلّلوا طرق حلّ المشاركين لهذه المشكلة. (هذا الشكل مقتبس من الشكل رقم 2 بالبيانات الموسعة المُشار إليها في المرجع رقم 1)

وفريقها أن ذلك لم يكن ناتجًا عن عدم إدراكهم قيمةَ تلك الحلول القائمة على الحذف، بل لأنها لم تخطر لهم من الأساس. والحقيقة أنه عندما ضُمِّنت إمكانية التفكير في حلول الخصم صراحةً في تعليمات المشاركة في التجربة، أو عندما مُنح المشاركون فرصة أكبر للتفكير أو التطبيق، زادت احتمالات اقتراح هذه الحلول. وهكذا، يبدو أن الأفراد يميلون إلى تطبيق منهجية التفكير البديهي، التي يعبر عنها السؤال: "ماذا يمكن أن يُضاف هنا؟" (وهي استراتيجية افتراضية لتبسيط عملية اتخاذ القرار، وتسريعها). ويمكن كبح هذه المنهجية عن طريق بذل جهد إدراكي أكبر للتفكير في حلولٍ أخرى أقلَّ بداهة، وأكثر وعيًا.

بينما ينصَبُّ تركيز الباحثين على ميل المشاركين إلى استبعاد الحلول التي تنطوي على حذف أو خَصم، نميل نحن إلى افتراض أن ثمة عاملًا آخر يعزز الانحياز إلى حلول الإضافة، يتمثل في أن حلول الخَصم لا تحظى بالتقدير الكافي. ربما يظن الشخص أنه سينال قدرًا أقلَّ من الاستحسان إنْ هو تبنَّى حلًّا يقوم على الحذف، مقارنةً بحلول الإضافة. فاقتراح التخلُّص من شيء قد يبدو أقل إبداعًا مما لو اقترح أحدهم إضافة شيء جديد. بل وربما تكون لحلول الحذف تبعاتٌ سلبية على الصعيد الاجتماعي أو السياسي؛ ومن ذلك، مثلًا، أن اقتراح حلّ أحد الأقسام الأكاديمية قد لا يَلقَى قبولًا لدى العاملين في ذلك القسم. أضف إلى ذلك أن الأفراد قد يفترضون أن الوضع القائم إنما وُجد لسببٍ ما، ولذا يتحسَّبون من الحذف، ويفضّلون البحث عن إضافات، بحُسبان أنها أكثر فاعلية. وأخيرًا، فإن "الانحياز إلى التكلفة المستَهلَكة" sunk-cost bias (أي الرغبة في مواصلة عمل بمجرد بذل المال أو الجهد أو الوقت فيه)، والنفور من فكرة هدر الموارد، قد يدفعان الشخص إلى الإحجام عن نقض الوضع القائم، لا سيما إذا كان هذا الوضع[2] هو في الأساس نتاج مجهودٍ سابق.

وبالنظر إلى تلك المثالب المرتبطة في أذهان البعض بحلول الحذف، فقد يلجأ المرء دائمًا إلى حلول الإضافة؛ وهو ما يتماشى مع ما ذهبَتْ إليه آدامز وفريقها من أنَّ التعرض المتكرر لحلول الإضافة في السابق يجعل هذه الحلول أقرب إلى الاستدعاء، وأسهل من الناحية الإدراكية، ومن ثم تزداد احتمالية اللجوء إليها. غير أننا نفترض أيضًا أن التجارب السابقة قد تدفع الشخص إلى افتراض أن الإجراء المتوقع منه هو الإضافة، لا الحذف. ونتيجةً لذلك، فربما يكون تصرُّف المشاركين في الدراسة مبنيًّا على التجارب السابقة، فينطلقون من افتراض بديهيّ، هو أن عليهم إضافة خصائص جديدة، ولا يعيدون النظر في هذا الافتراض إلا عندما يفكّرون مليًّا، أو يُطلب منهم ذلك صراحةً. وبالمثل، قد يفترض أعضاء المجتمع الجامعي ضمنًا أن الرئيس الجديد يريد منهم التقدُّم بمبادرات جديدة، لا توجيه النقد إلى المبادرات القائمة.

ما الدلالات التي تحملها النتائج التي انتهَتْ إليها آدامز وفريقها؟ ثمة الكثير من العواقب التي نلمسها على أرض الواقع، وتكون مترتِّبة على الإخفاق في إدراك أن بعض الأوضاع قد تتحسّن بالحذف أو الإزالة، لا بالإضافة. إذا شعر شخصٌ بعدم الرضا عن الشكل الداخلي لمنزله، على سبيل المثال، فربما يلجأ إلى حل هذه المشكلة بإنفاق مبالغ طائلة على شراء قطع أثاث إضافية، حتى إذا كان سيصل إلى النتيجة نفسها لو أنه تخلَّص من إحدى طاولات القهوة التي تُضفي على المكان شيئًا من الفوضى. وقد تظهر هذه النزعة بدرجة أوضح لدى المستهلكين الذين تعوزُهم الموارد المالية، ويركزون اهتمامهم على اقتناء السلع المادية حصرًا[3]. فهذا التوجُّه لا يضرُّ بالوضع المالي لهؤلاء المستهلكين فحسب، وإنما يزيد أيضًا من الضغط على بيئتنا. وبوجهٍ عام، يمكن القول إن تفضيل صنّاع القرار حلول الإضافة قد تنجُم عنه ظواهر اجتماعية سلبية، مثل التوسع المفرط في المؤسسات الرسمية[4]، وسعي جميع البلدان – بدون استثناء تقريبًا – إلى تحقيق النمو الاقتصادي، دون اعتبار لما قد يتمخض عنه ذلك من إضرار ببيئتنا[5].

تطرح دراسة آدامز وزملائها آليةً لتفادي هذه المخاطر في المستقبل، تتمثل في أن يَطلُب صنّاع القرار وإدارات المؤسسات، بشكلٍ صريح لا لبس فيه، التقدُّم بمقترحات تعتمد على التقليل والترشيد، لا الإضافة، وأن يُظهروا التقدير لتلك المقترحات. يمكن لرئيس الجامعة الجديد، مثلًا، أن يصرِّح بأن التوصيات التي تطرح حلَّ لجان، أو إلغاء سياسات، لن تكون مُستبعَدة، ولن تُقابَل باستغراب أو استهجان، بل ستكون محلَّ تقدير. إضافةً إلى ذلك، يمكن للأفراد والمؤسسات اتخاذ إجراءات تقوم على ضبط النفس، لتفادي هذا النزوع الفطري إلى حلول الإضافة. ويمكن للمستهلكين تقليل مساحات التخزين المتاحة لديهم، بما يساعدهم على التحكُّم في مشترياتهم، أما المؤسسات فبإمكانها وضع شروط تُفضي إلى إلغاء المبادرات التي لا تحقق أهدافًا محدّدة.

وغنيٌّ عن البيان أن الانحياز إلى حلول الإضافة ليس هو الحال دائمًا. ففي بعض الحالات، يُفترض أن تكون التغييرات القائمة على الخَصم أو الحذف أسهل؛ لأنها لا تتطلب تخيُّل شيء غير موجود من الأساس. والحقيقة أنه عندما يتصوَّر شخص كيف أن موقفًا اتخذه كان يمكن أن ينتهي إلى نتيجة مغايرة، فأكبر الظن أنه يفكر في التراجع إجراء اتخذه بالفعل، لا في إضافة إجراء آخر أخفق في اتخاذه[6]. وهكذا، فربما يكون من المفيد دراسة الحالات التي يكون المرء فيها مستعدًا لتخيُّل إلغاء بعض الأحداث، ويمتدُّ ذلك إلى تخيُّل إلغاء بعض الأوضاع القائمة، أو التراجع عنها، ومن ثَمَّ مساعدته على حل المشكلات عن طريق الإلغاء أو الحذف، عوضًا عن الإضافة.

توم ميفيس وهييونج يون باحثان في كلية ليونارد ستيرن للأعمال بجامعة نيويورك، نيويورك 10012، الولايات المتحدة.
البريد الإلكتروني:tmeyvis@stern.nyu.edu
hyoon@stern.nyu.edu

1. Adams, G. S., Converse, B. A., Hales, A. H. & Klotz, L. E. *Nature* **592**, 258–261 (2021).
2. Arkes, H. R. & Blumer, C. *Organiz. Behav. Hum. Decision Processes* **35**, 124–140 (1985).
3. Tully, S. M., Hershfield, H. E. & Meyvis, T. *J. Consumer Res.* **42**, 59–75 (2015).
4. Meyer, J. W. & Bromley, P. *Sociol. Theory* **31**, 366–389 (2013).
5. Victor, P. *Nature* **468**, 370–371 (2010).
6. Byrne, R. M. J. & McEleney, A. *J. Exp. Psychol.* **26**, 1318–1331 (2000).

الهندسة

مطويات أوريجامي كبيرةُ الحجم تستقر في مكانها تحت تأثير الضغط

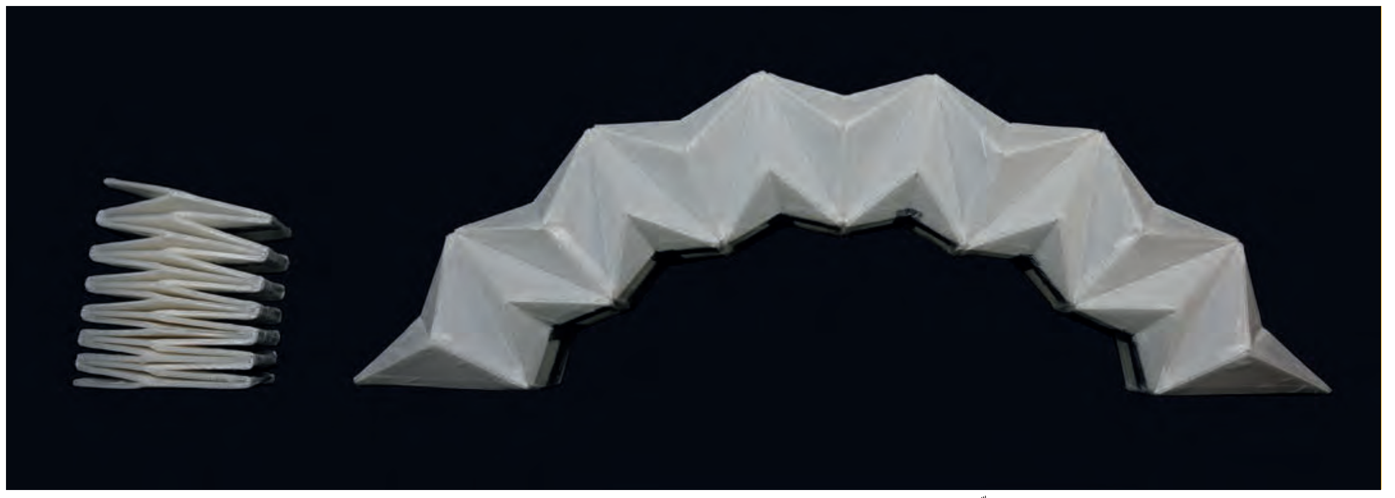
سيجريد أدريانسنس

صُمِّمت بِنًى من الأوريجامي ذات أبعاد مترية وقابلة للنفخ، بحيث تتحول من هياكل مسطحة إلى أشكال موسَّعة النطاق، ثم تثبُت على شكلها الجديد. هذه التقنية تفتح الطريق أمام استخدام بِنَى الأوريجامي الضخمة في تطبيقاتٍ هندسية.

ربما تندهش حينما تعرف أن الأوريجامي، ذلك الفن الياباني القائم على طيّ الورق، يُعَد جزءًا لا يتجزأ من الهندسة، غير أنه من الممكن طيّ بِنى الأوريجامي على نحو مضغوط، ثم توسعتها بحيث تصبح ذات أبعاد نانوية وأبعاد كبيرة، دون جهدٍ، فيما يبدو. ومن ثم، فإن هذه البِنى تصلح لمجموعةٍ كبيرة من التطبيقات، من بينها الروبوتات[1]، ومصفوفات الألواح الشمسية[2]، وبِنًى مُعدَّلة هندسيًّا، تُعرف باسم المواد الخارقة[3]. وفي بحثٍ سابق نشرته دورية *Nature*، يُسلِّط ميلانكون وزملاؤه[4] الضوء على أوجهٍ مثلثية الشكل صُمِّمت بتقنية الأوريجامي، يمكن تحويلها إلى أشكالٍ ثلاثية الأبعاد عند ملئها بمائع مُعدَّل الضغط. ويطرح هؤلاء الباحثون، من خلال ذلك الجهد البحثي، طريقةً جديدة لتصميم أحيازٍ مغلقة كبيرة الحجم بتقنية الأوريجامي، يمكن توسعتها وتثبيتها على أشكالها المختلفة عن طريق النفخ.

وفي مجال الهندسة، يُقصَد بالبِنْية القابلة للتوسعة تلك البِنْية التي يمكن تغيير شكلها على نحوٍ يُحدِث تغييرًا كبيرًا في حجمها، وتُعَد الرافعات المقصية، والقلاع المطاطية النطاطة من الأمثلة كبيرة الحجم لهذه البِنى، إذ تتحول البِنى التقليدية القابلة للتوسعة إلى شكل أكبر حجمًا من خلال تمديد الروابط (كما هي الحال في الرافعات المقصية)، أو عن طريق النفخ (كما هي الحال في القلاع المطاطية النطاطة). وبعد ذلك، تُثبَّت البِنى من كلا النوعين على أشكالها الجديدة باستخدام عامل خارجي: قفل ومُثبت ضغط الهواء، غير أن كلتا الوسيلتين لا تكونان ثابتتين في مكانهما.

وللتغلب على هذه المشكلة، استلهم ميلانكون وزملاؤه تصميمهم من فن الأوريجامي. فقد حدَّد الباحثون في البداية مؤشرات متعلقة بالهندسة الرياضية تتيح توسعة بِنى الأوريجامي التي تحيط بفراغٍ، عن طريق استخدام ضغط المائع. ويتمثل



REF. 4

الشكل 1 | ممرّ مقوّس قابل للنفخ بتقنية الأوريجامي. يُسلِّط ميلانكون وآخرون[4] الضوء على تصميم بِنى مترية الأبعاد، قابلة للنفخ بتقنية الأوريجامي، مثل هذا الممر المقوَّس. يمكن لهذه البِنى أن تتحوَّل من شكلٍ مضغوطٍ إلى شكل أوسع نطاقًا عند نفخها. وفضلًا عن ذلك، تحتفظ هذه البِنى بشكلها الموسَّع، دون حاجة إلى تعديلٍ مستمر لضغط الهواء.

نهجهم المُبتكَر في تصميم أشكال أوريجامي مغلقة ذات حالتين أو أكثر من حالات الاتزان الثابتة (وهي تشكيلات تنخفض فيها طاقة النظام إلى أدنى مستوياتها). ونظرًا إلى كونها في وضع الاتزان، تبقى تلك الحالات مستقرة في مكانها، دون حاجة إلى عامل خارجي، تمامًا كما تتوقف الكرة بعد دحرجتها عندما تصل إلى قاع أحد الوديان.

غير أن أشكال الأوريجامي التي صمَّمها الباحثون تحتاج إلى التغلب على أحد حواجز الطاقة، كي يتأتى لها الانتقال من حالة مستقرة إلى أخرى عند نفخها. والسبب في ذلك أن الأوجه المكوِّنة لشكل الأوريجامي لا يمكن أن تنثني أو تتمدد، ومن ثم لا تكون متوافقة هندسيًّا مع بعضها البعض أثناء عملية التوسعة. وقد لجأ ميلانكون وزملاؤه إلى توصيل الأوجه الجامدة بمفصلات قابلة للتمدد في سبيل التغلب على هذه المشكلة. فأبعادُ هذه المفصلات يمكن أن تتغير كوسيلةٍ لحل مشكلة عدم التوافق الهندسي، مما يسمح للنظام بالانتقال من حالة موضعية ذات حد أدنى من الطاقة إلى حالة أخرى.

أوضح ميلانكون وزملاؤه أن هذا النهج يمكن استخدامه في توسعة وتثبيت ممرٍ مقوسٍ قابل للنفخ، يبلغ طوله 60 سنتيمترًا، وعرضه 150 سنتيمترًا (شكل 1)، ونموذجٍ أوّلي لملجأٍ شبيه بالخيمة، ذي شكلٍ موسَّعٍ يبلغ حجمه 2.6 x 2.6 x 2.5 متر. يُعَد نجاحهم في هاتين المهمتين إنجازًا مهمًّا، إذ إن توسعة وتثبيت بِنى أوريجامي بهذه الأحجام الكبيرة ليس بالأمر السهل. وقد أشار الباحثون إلى أن سر نجاحهم يكمن في الجمع بين تعدُّد حالات الاستقرار والانتفاخ، إضافةً إلى استخدام المفصلات المرنة لحل مشكلة عدم التوافق الهندسي لأوجه هذه البِنى. لذا، فإن هذه النتائج تُمهِّد الطريق أمام أحد الميادين البحثية غير المطروقة، وهو ميدان بِنى الأوريجامي الضخمة المستقرة والقابلة للتوسعة. وفضلًا عن ذلك، فنظرًا إلى أن هذه البِنى يمكن أن تُجسِّد حالتين أو أكثر من حالات الاستقرار المستقلة عن بعضها البعض، فمِن المفترض أن يكون ممكنًا تصميم بِنًى قادرة على الانتقال بين مجموعة متنوعة من الأشكال، وهي خاصية مطلوبة في ملاجئ طوارئ ذات شكلٍ واحدٍ يناسب جميع الأوضاع، لا سيما في المواقف التي تجب فيها توسعة هذه الأحياز المغلقة في سياقٍ غير معلوم.

غير أن مشكلات التوسع في الحجم ربما تحدّ من إمكانية الاستفادة من أنظمة الأوريجامي هذه في تطبيقات هندسية كبيرة الحجم للغاية (10 - 100 متر). ففَهْم العمليات اللازمة لطيّ ألواح مسطحة من المواد من أجل إنتاج بِنى ذاتية التثبيت وقابلة للنفخ استمده العلماء من عمليات محاكاة عددية، ونماذج أولية مادية أُنشئت على مقياس متري، وجرت توسعتها في بيئة المختبرات التي تخضع ظروفها للتحكم. ومن المفترض أن المادة معدومة الكتلة (تقريبًا) - ومن ثم فهي تخلو من الإجهاد الداخلي - وتتسم بالصلابة الشديدة، لكن هذه الافتراضات لا تنطبق على الأجسام بالغة الضخامة، فعلى سبيل المثال، كشف تحليلٌ عددي أُجري سابقًا لجسر مشاة[5] مصنوع بتقنية الأوريجامي، ويمتد بطول 56 مترًا، أن ثِقله الذاتي الكبير أنتج تفاوتًا في إجهاد الضغط والشد، وأحدث تشوهاتٍ عبر المفصلات والأوجه.

وإضافةً إلى ذلك، يجب أن تكون البِنى الضخمة قوية وصلبة في جميع مراحل توسعتها، امتثالًا للوائح التنظيمية لعملية البناء، وهو ما يستتبع ضرورة أن تكون البِنى قادرةً على مقاومة الأحمال الشديدة، كامتصاص الرياح غير المتماثل، والضغوط الناتجة عن الأعاصير. وينطبق هذا بشكلٍ خاص على ملاجئ الطوارئ في مناطق الكوارث. ولَم تُرصد إلى الآن تأثيراتُ التجميعات المختلفة من عناصر التحميل الشديد على السلوك البنيوي لأنظمة الأوريجامي التي ابتكرها ميلانكون وزملاؤه.

وقد تنشأ أيضًا مشكلات التوسع في الحجم بسبب أن عمليات الأوريجامي التي تصلح مع المواد الورقية، التي يبلغ سُمْكها صفرًا في الأساس، ربما لا تصلح مع الأحجام الأكبر من المواد الأخرى الأكثر سُمْكًا، حيث لا يتطلب الأمر أن تكون المواد المستخدمة في التطبيقات المعمارية أو البنيوية قويةً فحسب، بل لا بد أيضًا أن تتمتع بطول العمر الافتراضي، وتلبي وظائف أخرى، كتنظيم انتقال الحرارة إلى داخل الحيز المغلق. ولذا، فإن أوجه مثل هذه البِنى ستكون أكثر سُمْكًا بكثير من الورق. ويمكن التغلب على هذا التحدي باستخدام أنظمة من الأوجه تكون متفاوتة في سُمْكها (بمعنى أن تكون متفاوتة السُّمْك داخل الوجه الواحد، أو تكون لها أوجه مختلفة تتفاوت في سُمْكها). وغالبًا ما تمثل المفصلات العناصر الأعلى تكلفةً والأضعف متانةً في أي تصميم هندسي، ولذا، فإن تقليل عدد الطيّات من شأنه أن يساعد في خفض تكاليف التصنيع، وتقوية بِنْية الأوريجامي.

إن استخدام بِنَى الأوريجامي التي ابتكرها ميلانكون وزملاؤه في مجال الهندسة يمكن أن يُقلِّل من مساحة التخزين، وتكاليف النقل، ووقت الإنشاء، كما إنّ نظام النفخ ذاتي التثبيت من شأنه أن يتيح سهولة التوسعة ومتانتها، وهذا سيكون مفيدًا على جميع المستويات فيما يخص البِنى القابلة للتوسعة. وكما أشرنا سلفًا، فإن ثمة العديد من المشكلات التي ينبغي معالجتها أولًا قبل استخدام هذه البِنى على نطاقات كبيرة فوق سطح الأرض، غير أن القدرة على نقل أجسام ضخمة في أشكال مضغوطة لهي أمر مطلوب بشدة أيضًا في البعثات الفضائية. أضف إلى ذلك أن انخفاض قوة الجاذبية في الفضاء، وعدم وجود لوائح تنظيمية تَحكم عمليات البناء هناك من شأنهما أن يسهِّلا استخدام تقنية الأوريجامي الجديدة.

سيجريد أدريانسنس تعمل في قسم الهندسة المدنية والبيئية بجامعة برينستون في برينستون، 08544 نيو جيرسي، الولايات المتحدة الأمريكية.

البريد الإلكتروني: sadriaen@princeton.edu

1. Felton, S., Tolley, M., Demaine, E., Rus, D. & Wood, R. *Science* **345**, 644–646 (2014).
2. Zirbel, S. A. *et al. J. Mech. Des.* **135**, 111005 (2013).
3. Filipov, E. T., Tachi, T. & Paulino, G. H. *Proc. Natl Acad. Sci USA* **112**, 12321–12326 (2015).
4. Melancon, D., Gorissen, B., García-Mora, C. J., Hoberman, C. & Bertoldi, K. *Nature* **592**, 545–550 (2021).
5. Nagy, L., Rhode-Barbarigos, L., Adriaenssens, S. & Kilian, A. *Int. J. Space Struct.* **30** (2), 75–84 (2015).

ملخصات الأبحاث

تطوُّر فيروس كورونا أثناء علاج الحالات المزمنة

يلعب البروتين الشوكي لفيروس كورونا، المُسبِّب للمتلازمة التنفسية الحادة الوخيمة من النوع الثاني "سارس-كوف-2"، دورًا أساسيًّا في عملية الإصابة بعدوى الفيروس، وذلك من خلال ارتباطه بالبروتين البشري ACE2، وهو أيضًا أحد الأهداف الرئيسة للأجسام المضادة.

وفي هذا البحث المنشور، يبين العلماء أنَّ العدوى المزمنة بفيروس "سارس-كوف-2" تؤدي إلى تطور الفيروس، وانخفاض حساسيته للأجسام المضادة المُحيِّدة لدى الأشخاص ذوي المناعة المُثبَّطة، الذين يخضعون للعلاج باستخدام نهج بلازما النقاهة (أو بلازما المتعافين). يقوم العلماء بتعيين تسلسلات فائقة العمق للجينوم الكامل في 23 نقطة زمنية على مدار فترة يبلغ طولها 101 يوم، مستعينين بالتقنيات المخبرية، لتوصيف الطفرات التي كشف عنها تعيين تسلسل الجينوم.

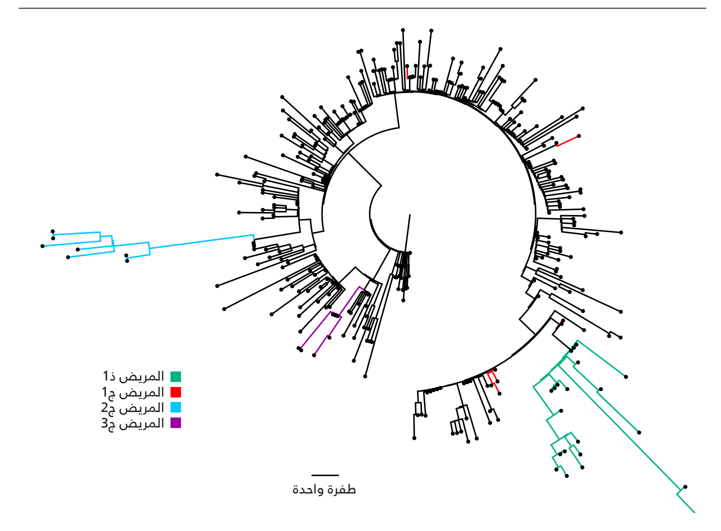
لم يُرصَد إلا تغيير طفيف في تركيب مجموعة العينة الفيروسية بعد إعطاء جرعتين علاجيتين مُقررتَين من عقار "ريمديسيفير Remdesivir" خلال الفترة الأولى (التي يبلغ طولها 57 يومًا). أما بعد العلاج ببلازما النقاهة، فقد لاحظ العلماء تحوُّلات ديناميكية كبيرة في مجموعة العينة الفيروسية، ولا سيما مع ظهور سلالة سائدة من الفيروس تحتوي على الطفرة البديلة (D796H) في الوحدة الفرعية الثانية S2، وكذلك عنصر الحذف (ΔH69/ΔV70) في نطاق البروتين الشوكي الذي ينتهي بمجموعة أمينية في الوحدة الفرعية الأولى S1. ومع تناقص أعداد الأجسام المضادة المَصْلِية في جسم المريض، التي نُقلَتْ إليه سلبيًّا، تناقَص معدل إنتاج الفيروسات التي تحتوي على الطراز الجيني الهروبي، ثم ما لبثَتْ أن عادت لما كانت عليه عند إعطاء جرعة علاجية مقرَّرة أخيرة، وغير ناجحة باستخدام بلازما النقاهة.

وفي التجارب المخبرية، تسببت الطفرة الشوكية المزدوجة، التي تحمل عنصر الحذف (ΔH69/ΔV70) والطفرة البديلة D796H معًا، في تقليل حساسية الفيروس لبلازما النقاهة بصورة طفيفة، بينما حافظت على قدرة الفيروس على الإصابة بالمرض عند معدلات مماثلة لنظيرتها من النوع البري. وبدا أنَّ الطفرة الشوكية البديلة D796H كانت العامل الرئيس الذي أسهَم في تقليل قابلية الفيروس للتحييد باستخدام الأجسام المضادة؛ إلا أنَّ هذه الطفرة أدّت إلى حدوث خلل في قدرة الفيروس على الإصابة بالمرض؛ إذ كان للطفرة التي تحتوي على عنصر الحذف الشوكي ΔH69/ΔV70 ضِعْف معدل قدرة فيروس "سارس-كوف-2" من النوع البري على الإصابة بالمرض. ولعل ذلك قد حدث لتعويض انخفاض قدرة الفيروس الذي تظهر فيه طفرة D796H على الإصابة بالمرض.

تكشف هذه البيانات عن حدوث انتخاب قوي لصالح فيروس "سارس-كوف-2" خلال العلاج ببلازما النقاهة، يرتبط بظهور متغيرات فيروسية، تُظهِر أدلة على انخفاض قابليتها للتحييد بالأجسام المضادة لدى الأفراد ذوي المناعة المُثبَّطة.

S. Kemp *et al.*

doi:10.1038/s41586-021-03291-y



الشكل إلى اليسار | تحليل 23 تسلسلًا جينوميًّا كاملًا مأخوذًا من مرضى بفيروس "سارس-كوف-2" في سياق تعيين التسلسلات الجينية المحلية، ومن مرضى آخرين لديهم تناثُر فيروسي مزمن لفيروس "سارس-كوف-2". صُمِّمَتْ شجرة التطور الدائرية للأرجحية العظمى بالاستعانة بالتسلسل المرجعي لفيروس Wuhan-Hu-1، وتُبيِّن وجود مجموعة فرعية، مكوّنة من 250 جينومًا محليًّا لفيروس "سارس-كوف-2"، مأخوذة من "المبادرة العالمية لمشاركة بيانات إنفلونزا الطيور" GISAID. يسلط هذا المخطط التمثيلي الضوء على التنوع الكبير لدى المريض ذ1 (باللون الأخضر)، مقارنةً بثلاثة مرضى محليين آخرين لديهم تناثُر فيروسي طويل الأمد (تسلسل جينوم المريض ج1 يظهر باللون الأحمر، وتسلسل جينوم المريض ج2 يظهر باللون الأزرق، في حين يظهر تسلسل جينوم المريض ج3 باللون البنفسجي). وقد جرى تحميل جميع جينومات "سلالة المملكة المتحدة/السلالة الإنجليزية" من فيروس "سارس-كوف-2" من قاعدة بيانات "المبادرة العالمية لمشاركة بيانات إنفلونزا الطيور"، وتم اختيار مجموعة فرعية (مكوَّنة من 250 تسلسلًا) عشوائيًّا، لتكون هي الخلفية (تظهر باللون الأسود).

تبريد ذرات من الهيدروجين المضاد باستخدام الليزر

صحيح أنَّ الفوتونات، التي تعبِّر عن الإثارة الكمّية للمجالات الكهرومغناطيسية، عديمة الكتلة، إلا أنها تملك زخم حركة. ولهذا، يستطيع الفوتون أن يؤثر بقوةٍ معينة على أحد الأجسام عند الاصطدام به. وقبل 40 عامًا، ثبت لأول مرة إمكانية إبطاء الحركة الانتقالية للذرات والأيونات باستخدام هذا التأثير، المعروف باسم التبريد بالليزر، وهو ما فجَّر ثورة في الفيزياء الذرية على مدى العقود التالية. ويُعتمد على هذه التقنية الآن بشكل مكثف في العديد من المجالات، ومنها الدراسات المتعلقة بالغازات الكمية المتحللة، والمعلومات الكمية، والساعات الذرية، وكذلك اختبارات الفيزياء الأساسية. ومع ذلك، لم تُستخدم هذه التقنية حتى الآن في حال المواد المضادة.

وفي هذا البحث المنشور، يستعرض الباحثون عملية تبريد بالليزر لهيدروجين مضاد، أي لذرات مادة مضادة تتكون من بروتون مضاد وبوزيترون. فباستثارة عملية انتقال إلكتروني من مستوى الطاقة 1S إلى مستوى الطاقة 2P في الهيدروجين المضاد باستخدام إشعاع ليزر نابض ذي خطٍّ "لايمان-ألفا" ضيق العرض الطيفي، يُبرِّد الباحثون عينة هيدروجين مضاد محتجزة في مصيدة مغناطيسية باستخدام تقنية تبريد دوبلر. ومع أنَّ الباحثين يستخدمون عملية التبريد بالليزر على بُعد واحد فقط من العينة، فإن المصيدة المغناطيسية تُدمِج بين الحركات الطولية والمستعرضة لذرات المادة المضادة، وهو ما يؤدي إلى تبريد الأبعاد الثلاثة للعَيّنة. ويرصد الباحثون انخفاضًا في متوسط طاقة الحركة المستعرضة بأكثر من قيمة أُسّية، إذ تصل قِيَم طاقة هذه الحركة لدى جزء كبير من ذرات هذه المادة المضادة إلى مستويات أقل من ميكرو فولت واحد.

ويفيد الباحثون أيضًا بأنهم رصدوا هذا الانتقال الإلكتروني المُستحث بالليزر بين مستويي الطاقة 1S و2P في عينات من ذرات الهيدروجين المضاد المُبرَّدة بالليزر. ووُجدوا أنَّ الخط الطيفي المرصود أضيق بحوالي أربع مرات، مقارنة بذلك الذي يَنتُج دون استخدام تقنية التبريد بالليزر. وتجدر الإشارة إلى أن عملية التبريد بالليزر هذه وتطبيقاتها المباشرة لهما آثار واسعة النطاق على دراسات المادة المضادة. فاستخدام عينة من الهيدروجين المضاد تتصف بكونها أبرد وأشد كثافة، ومقيدة بدرجة أكبر في موضع معين، من شأنه أن يسمح بإدخال تحسينات كبيرة على دراسات التحليل الطيفي، والجاذبية المتعلقة بالهيدروجين المضاد في التجارب الجارية. وفضلًا عن ذلك، من

المحتمل أنّ ما برهن عليه الباحثون من إمكانية للتلاعب بحركة ذرات المواد المضادة باستخدام ضوء الليزر سيُتيح فرصًا لابتكارات رائدة في التجارب المستقبلية، مثل نوافير ذرات المواد المضادة، وقياسات تداخل ذرات المواد المضادة، وإنشاء جزيئات المواد المضادة.

C. Baker *et al.*
doi:10.1038/s41586-021-03289-6

كبح انتشار المعلومات الخاطئة على الإنترنت

كثرَتْ في السنوات الأخيرة المخاوف بشأن انتشار الأخبار الكاذبة والمُضلِّلة على وسائل التواصل الاجتماعي؛ ما جعل الأكاديميين وعموم المستخدمين على السواء يتساءلون عن السر وراء الإقبال على تبادل المعلومات الخاطئة، وسعوا إلى إيجاد حلول لتحجيم مشاركتها.

وفي هذا البحث المنشور، يحاول الباحثون الاقتراب من الإجابة عن هذين السؤالين. في البداية، وجدوا أنَّ صحة عناوين الأخبار، من عدمها، لم يكن لها تأثير يُذكر على النوايا الكامنة وراء مشاركتها، رغم ما لهذه العناوين من تأثير كبير على انطباع المستخدمين عن مدى دقتها. وهذا الانفصال بين الأمرين يشير إلى أنَّ مشاركة الأخبار على وسائل التواصل الاجتماعي لا تدل بالضرورة على اعتقاد المستخدمين في صحة ما يشاركونه؛ على الرغم من تأكيد معظم المشاركين في البحث على أنَّ المهم هو مشاركة الأخبار الدقيقة فقط، ولا شيء سواها.

ولتسليط الضوء على هذا التناقض الواضح، أجرى الباحثون أربع تجارب تعتمد على المسح الاستقصائي، وتجربة ميدانية واحدة على موقع التدوينات القصيرة "تويتر" Twitter. وقد بيّنت النتائج أنَّ لفْتَ الانتباه – ولو قليلًا – إلى اعتبارات الدقة يؤدي إلى الارتقاء بجودة الأخبار التي يتشاركها الناس فيما بينهم بعد ذلك. وتبرهن هذه النتائج، إضافة إلى تحليلات حسابية إضافية، على أنَّ مشاركة المعلومات الخاطئة إنما ترجع، في الغالب، إلى أنَّ انتباههم يكون منصبًّا على عوامل أخرى، بخلاف الدقة، ومن ثم يخفقون في إظهار التقيُّد باعتبارات الدقة فيما يشاركون من معلومات.

تشكك نتائج هذا البحث في مدى صحة المزاعم الشائعة، القائلة بأنّ الأشخاص يميلون إلى التحزُّب على حساب الدقة، وتقدّم أدلة على إمكانية إجراء تدخُّلات قابلة للتوسّع، تقوم على آليات توجيه الانتباه، إذ يمكن تطبيقها بسهولة عبر منصات التواصل الاجتماعي، بُغية التصدي لتفشِّي المعلومات الخاطئة على شبكة الإنترنت.

G. Pennycook *et al.*
doi:10.1038/s41586-021-03344-2

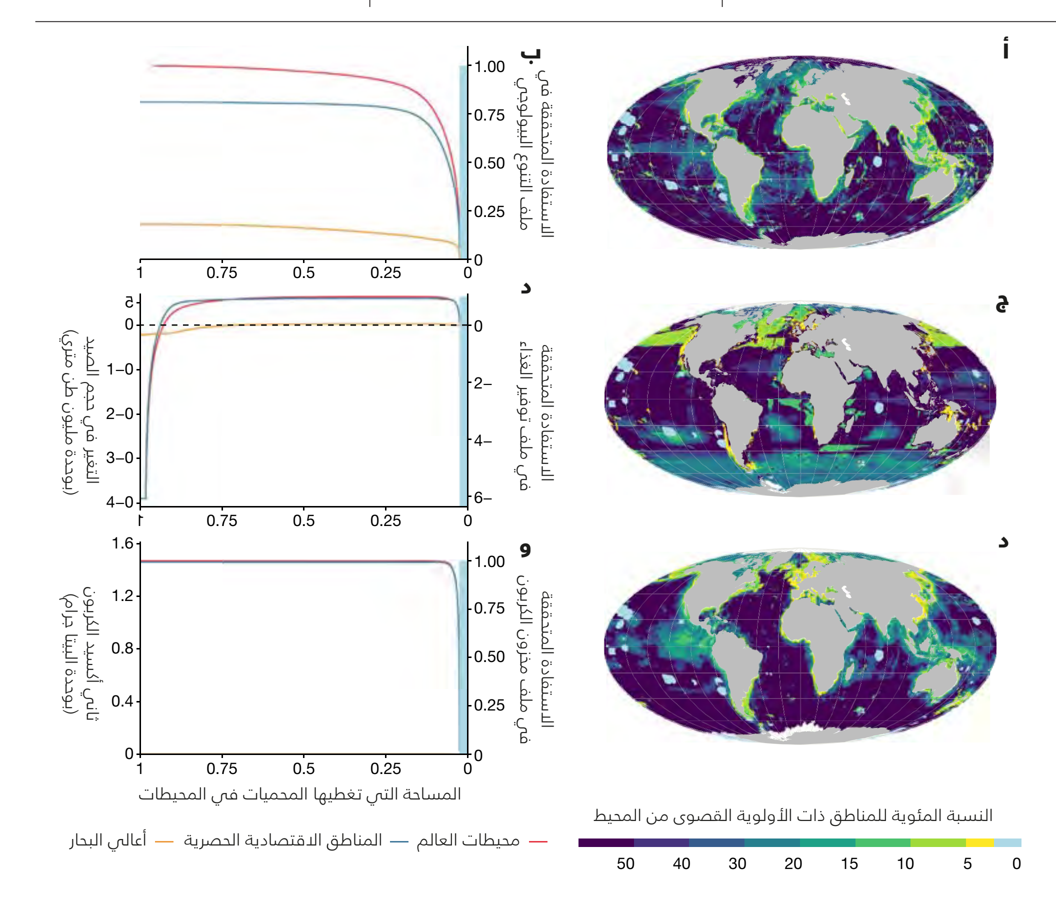
حماية المحيطات تفيد المناخ و الغذاء والتنوع البيولوجي

تشتمل المحيطات على تنوُّع بيولوجي فريد، وتحوي موارد غذائية قيِّمة، كما تُعَد مصرفًا أساسيًّا للكربون الناتج عن الأنشطة البشرية. صحيحٌ أنَّ المحميات البحرية تُعَد أداة فعَّالة لاستعادة التنوُّع البيولوجي في المحيطات، وإصلاح نظامها الإيكولوجي، إلا أنَّ هذه المحميَّات لا تزيد مساحتها في الوقت الراهن على 2.7% من مساحة المحيطات. ومن أبرز الأسباب الكامنة وراء هذه النسبة المتدنّية، حدوث تعارُض بين أهداف حماية البيئة البحرية، من جهة، وصيد الأسماك، إلى غير ذلك من الأنشطة التي تستنزف الموارد الطبيعية المائية، من جهةٍ أخرى.

وسعيًا إلى معالجة هذه المشكلة، وضع الباحثون في هذا البحث إطارًا تخطيطيًّا لحِفظ البيئة البحرية، بُغية إعطاء الأولوية لإنشاء محميات بحرية، تتمتع بمستوًى عالٍ من الحماية، في الأماكن التي يُنتظَر أن تحقق فيها تلك المحميات منافع متعددة في الحاضر والمستقبل. وجد الباحثون أنَّ من شأن تعزيز حماية المحيطات أن تحقق ثلاث فوائد أساسية: حماية التنوع البيولوجي، وزيادة إنتاجية مصايد الأسماك، وتأمين مخزون المحيطات من الكربون البحري الذي تهدده الأنشطة البشرية.

أظهرت النتائج التي انتهى إليها الباحثون أنَّ لدى معظم الدول والأقاليم الساحلية مناطق ذات أولوية، يُمكن أن تُسهم إسهامًا كبيرًا في تحقيق الأهداف الثلاثة آنفة الذكر. وإذا ما تضافرَتْ الجهود العالميّة في هذا الشأن، فإن كفاءة تلك الجهود ستكون أعلى بمرتين تقريبًا مما لو اتَّبع كل بلد خطة وطنية، تفتقر إلى التنسيق على المستوى الدولي، الهادف إلى حفظ البيئة البحرية. قد يُسهم هذا الإطار المرن، الذي وضعه الباحثون لتحديد الأولويات، في إتاحة المعلومات اللازمة لوضع الخطط المكانية البحرية على المستوى الوطني، وكذلك لبلوغ الأهداف العالمية المتعلقة بحفظ البيئة البحرية، وتحقيق الأمن الغذائي، ودعم المساعي المبذولة في قضية المناخ.

E. Sala *et al.*
doi:10.1038/s41586-021-03371-z



الشكل أسفله | أولويات حِفظ البيئة البحرية في محيطات العالم: أ، ج، هـ) تحديد أولويات شبكة عالمية من المحميات البحرية لحفظ التنوع البيولوجي (أ)، وتوفير الغذاء (ج)، ومخزونات الكربون (هـ). المحميات الحالية التي تحظى بحماية كاملة موضحة باللون الأزرق الفاتح. ب، د، و) الاستفادة التراكمية المقابلة، التي تُعرَّف فيها "الاستفادة" بأنها المكاسب المترتبة على الحِفظ (في حالة للتنوع البيولوجي) (ب)، وصافي حجم التغير في الأنواع البحرية القابلة للصيد في المصايد، بسبب الفائض الذي يتدفق إليها من المحميات البحرية (بالنسبة إلى توفير الغذاء) (د)، وتقليل خطر إحداث اضطراب في مخزون الكربون بسبب صيد الأسماك من الأعماق بجارفات القاع (بالنسبة إلى مخزون الكربون) (و). ويوضِّح الشكل الاستفادة التراكمية العائدة من حماية المحيطات على المستوى العالمي، وتلك المتحققة من حماية أعالي البحار والمناطق الاقتصادية الحصرية، كلًّا على حدة. ويُشير الشريط الأزرق في منحنيات الاستفادة إلى النسبة الحالية، البالغة 2.7% من محيطات العالم، والمُدرَجة ضمن المناطق المحمية حماية كاملة.

سلوكيات ابتكارية لدى الإنسان العاقل قبل 105 آلاف عام

يقدم لنا السجل الأثري بقارة أفريقيا أقدم دليل على ظهور السلوكيات الرمزية والتقنية المعقدة التي يتميّز بها الإنسان العاقل *Homo sapiens*. ولمَّا كانت مواقع أثرية عديدة، من المواقع التي تعود إلى عصر البليستوسين المتأخر، تقع في مناطق ساحلية، وبالنظر إلى وفرة بقايا المحار التي عُثر عليها في تلك المواقع، فقد أدى ذلك إلى انتشار سردية تقول بأن أصول الإنسان الحديث في جنوب أفريقيا مرتبطة ارتباطًا وثيقًا بالساحل والموارد البحرية، وأنَّ السلوكيات المُبتكرة في المناطق الداخلية (القارية) كانت متخلفةً عن نظيرتها الساحلية. ولمَّا كانت المواقع الطبقية، ذات البقايا المحفوظة جيدًا، التي تتوفَّر لها تسلسلات زمنية دقيقة تعود إلى عصر البليستوسين المتأخر، نادرة الوجود في المناطق الداخلية من جنوب أفريقيا، فإن هذه الفرضية الساحلية لم تخضع للاختبار حتى الآن.

وفي هذا البحث المنشور، يبرهن الباحثون على أنَّ الابتكارات البشرية المبكرة، التي تشبه تلك الابتكارات التي يمتدُّ عمرها إلى نحو 105 آلاف عام في جنوب أفريقيا الساحلية، كانت حاضرةً في الوقت ذاته تقريبًا لدى البشر الذين كانوا يعيشون على بُعد أكثر من 600 كيلومتر من الساحل. ويورد الباحثون أدلة على أنَّ إنسان تلك الحقبة عَمَد إلى جمْع أغراض غير ذات نفع (بلورات الكالسيت)، وقشور بيض النعام، حصل عليها الفريق إثر عمليات التنقيب التي أجروها في رواسب طبقية في مأوى صخري في حوض كالاهاري الجنوبي، ثم حدَّدوا عمرها باستخدام تقنية التألق المُستحث ضوئيًا، فوجدوا أنَّها تعود لما يقرب من 105 آلاف عام مضت. كما كشف تحديد عمر رواسب التوفا الأثرية، اعتمادًا على عنصرَي اليورانيوم والثوريوم، عن كميات هائلة من المياه العذبة الجارية، تدفَّقت على فترات متقطّعة، يعود تاريخ أقدمها إلى فترة تمتدُّ بين 110 آلاف و100 ألف عام مضت؛ أي أنَّها متزامنة مع الرواسب الأثرية.

وتشير النتائج التي توصّل إليها الباحثون إلى أنَّ الابتكارات السلوكية لدى البشر الذين كانوا يعيشون بالمناطق الداخلية من جنوب أفريقيا لم تكن متخلفةً عنها لدى المجموعات السكانية التي عاشت بالقرب من الساحل، وأنَّ تلك الابتكارات ربما تكون قد نشأت وتطورت في ظل بيئة سافانا رطبة. وعليه، يوصي الباحثون بمراجعة النماذج التي تربط بين تطور الابتكارات السلوكية لدى الجنس البشري، واستغلاله للموارد الساحلية.

J. Wilkins *et al.*
doi:10.1038/s41586-021-03419-0

التغيرات العالمية و تكوين الغابات المطيرة الإفريقية

من المتوقع أن تشهد قارة إفريقيا خلال القرن الحادي والعشرين تغيرات مناخية جمّة، ونموًا سكانيًا كبيرًا ومطَّردًا؛ مما يمثّل خطرًا يهدد ثاني أكبر غابة مطيرة في العالم. ولكي تتسنى لنا حماية الغابات المطيرة الإفريقية، وإدارتها بطريقة مستدامة، لا بدَّ لنا من أن نكون أكثر إلمامًا بغياب التجانس التكويني الذي يميز تلك الغابات، وكذا العوامل البيئية المؤثرة في تكوينها، ومدى قابليتها للتأثر بالتغيرات الحالية.

وفي هذا البحث المنشور، استعان الباحثون بقاعدة بيانات ضخمة، ضمَّتْ 6 ملايين شجرة موزَّعة على أكثر من 180 ألف قطعة من أراضي الغابات، وتعاونوا فيما بينهم على نمذجة توزيع وفرة غالبية أنواع الأشجار السائدة في إفريقيا الوسطى، وإنتاج خرائط مستمرة للتكوين النباتي والوظيفي لغابات تلك المنطقة. وانتهَتْ الدراسة إلى أن متوسط عدم التيقّن من توزيعات الأنواع يرقى إلى المستوى المجتمعي، كما كشفَتْ عن تجمّعات شجرية على درجة هائلة من التحديد.

كما كشف الباحثون النقاب عن وجود تكوينات نباتية ووظيفية متناقضة على مستوى المناخات المختلفة، وأنواع التربة، والتدرّجات البشرية، مع وجود تقارب وظيفي بين أنواع الغابات غير المتشابهة نباتيًا. وبالجمع بين هذه التوقعات المكانية، والسيناريوهات المحتملة للتغيّر المناخي والبشري في جميع أنحاء العالم، يتبيَّن أن ثمة قابلية واضحة للتأثر بتلك التغيرات في التخوم الشمالية والجنوبية للغابات، وكذا في غابات منطقة المحيط الأطلسي، وأغلب غابات جمهورية الكونغو الديمقراطية؛ لا سيّما أنَّه من المتوقع أن تشهد تلك المناطق ارتفاعًا حادًا في التهديدات المناخية والبشرية معًا بحلول عام 2085.

وتمثّل نتائج هذا البحث معايير جوهرية، يمكن للعلماء وواضعي السياسات الاتّكاء عليها من أجل صياغة استراتيجيات عالمية من شأنها الحفاظ على غابات إفريقيا الوسطى وإدارتها، لضمان مستقبل مستدام لتلك الغابات.

M. Réjou-Méchain *et al.*
doi:10.1038/s41586-021-03483-6

الشكل أعلاه | التكوين النباتي لغابات إفريقيا الوسطى. أ) تكوين بالألوان الأحمر والأخضر والأزرق للمحاور الثلاثة الأولى من تحليل تناظر (CA) أُجري على التوقعات المشتركة لوفرة الأنواع بدقة قدرها 10 كيلومترات (العدد = 193 نوعًا؛ المحور الأول محدَّد باللون الأزرق، والمحور الثاني باللون الأحمر، والمحور الثالث باللون الأخضر). تعبّر التقاطعات رمادية اللون عن المناطق الحرجية خارج نطاق المعايرة، ولا سيّما الغابات المغمورة بمياه الفيضانات بصفة دائمة، بينما جرى تمثيل الحدود بين الدول باللون الأسود. والرمز DD يشير إلى "الدرجة العشرية". ب–د) نتائج التحقق المتقاطع الذي يقارن بين التدرجات المرصودة والمتوقعة في تحليل التناظر للمحور الأول (ب) والثاني (ج) والثالث (د). ويظهر خط التساوي باللون الأحمر. مستويات تحليل تناظر الأنواع 1-2 و1-3 مبيّنة بالبيانات الموسعة في الشكل الثاني من البحث.

قياس رأس المال البشري باستخدام بيانات التعلُّم عالميًا

يُقصد برأس المال البشريّ الموارد المرتبطة باكتساب الأفراد للمعارف والمهارات، وهو عنصر أساسي من عناصر التنمية الاقتصادية. ووجود مؤشرات تعلّم يمكن المقارنة بينها في الدول على مستوى العالم ضروري لفهم كيفية تكوُّن رأس المال البشري، ورصده. وفي حين أنَّ الاستخدام المتزايد لاختبارات التحصيل الدولية هو خطوة مهمة في هذا الاتجاه، إلا أن هذه الاختبارات تُطبق بالدرجة الأولى في البلدان المتقدمة؛ وهو ما يحدّ من قدرة الباحثين على تحليل أنماط التعلم في البلدان النامية، التي قد تكون المستفيد الأكبر من تكوُّن رأس المال البشري.

وقد حاول العلماء في هذا البحث المنشور سد هذه الفجوة المعرفية، وذلك عن طريق إنشاء قاعدة بيانات يمكن أن تقارِن بين 164 دولة على مستوى العالَم في الفترة بين عامي 2000، و2017. وتُعبِّر بياناتها عن 98% من سكان العالم، وتمثّل الاقتصادات النامية ثُلثي الدول المشمولة فيها.

وباستخدام مجموعة البيانات تلك، بيَّن الباحثون أنَّ التقدم المُحرَز في التعلّم على مستوى العالم، وهو أحد أهداف التنمية المُستدامة ذات الأولوية، كان محدودًا، على الرغم من ازدياد أعداد الملتحقين بالتعليم الابتدائي والثانوي.

وقد قدَّر الباحثون، باستخدام عملية حسابية تتضمن قياس جودة التعليم المدرسي بشكل مباشر، أنَّ رأس المال البشري يشكل نسبة تتراوح ما بين الخُمس

والنصف بين العناصر التي تلعب دورًا في تفاوُت الدخل بين البلدان. وتتوسط التقديرات التي أسفرت عنها هذه النتائج نطاق تقديرات واسع، قدَّمَتْه الأدبيات البحثية السابقة.

وإضافة إلى ما سبق، بيَّن الباحثون أيضًا أنَّ متوسط هذه التقديرات يخفي قدرًا كبيرًا من التفاوُت المرتبط بنمط مجموعات الدخل على مستوى الدول والمناطق. وهذا التفاوُت يبرز أهمية دراسة البلدان في المراحل المختلفة من النمو الاقتصادي عند إجراء تحليل للدور الذي يسهم به رأس المال البشري في هذا النمو.

وأخيرًا، بيَّن الباحثون أنَّ قاعدة بياناتهم تُعَد مقياسًا لرأس المال البشري أكثر ارتباطًا بالنمو الاقتصادي من المقاييس المعمول بها حاليًّا، المتضمنة في الإصدار رقم 9.0 من "جداول بِن العالمية" Penn World Tables، ومؤشر التنمية البشرية الصادر عن الأمم المتحدة.

N. *Angrist et al.*
doi:10.1038/s41586-021-03323-7

أثر لقاحات mRNA على «سارس-كوف-2» وسلالاته المتحوِّرة

يُقدِّم العلماء في هذا البحث المنشور تقريرًا حول طبيعة استجابة الأجسام المضادة، والخلايا البائية الذاكرة، لدى مجموعة من المتطوِّعين، قوامها 20 متطوعًا، تَلَقَّوا إمَّا اللقاح المسمَّى mRNA-1273، الذي طوَّرَته شركة "موديرنا" Moderna، أو لقاح BNT162b2، الذي اشتركَتْ في تطويره شركتا "فايزر" و"بيونتك" Pfizer–BioNTech، للوقاية من فيروس كورونا المُسبِّب للمتلازمة التنفسية الحادة الوخيمة من النوع الثاني، المعروف اختصارًا بفيروس "سارس-كوف-2" SARS-CoV-2.

بعد مرور ثمانية أسابيع من تلقِّي الجرعة الثانية من اللقاح، ظهرت لدى المتطوعين معدلات مرتفعة من الأجسام المضادة من نوعي IgM وIgG، المضادِّين للبروتين الشوكي (S) الخاص بفيروس "سارس-كوف-2"، وكذلك من تركيز الارتباط المُعاير الخاص بنطاق الارتباط بالمُستقبِل (RBD). كما لوحظ أنَّ نشاط التحييد في البلازما، والعدد النسبي للخلايا البائية الذاكرة التي تستهدف نطاق الارتباط بالمستقبِل لدى المتطوعين الذين تلقَّوا اللقاح، كانا مكافِئَين لنظيريهما لدى الأفراد الذين تعافوا من العدوى الطبيعية.

ومع ذلك، فإنَّ النشاط المضاد لسلالات فيروس "سارس-كوف-2"، التي تُرمِّز البروتين الشوكي في الطفرة E484K، أو N501Y، أو K417N/ E484K/N501Y من الفيروس، قد انخفض بهامش ضئيل، غير أنه ملحوظ. وإضافةً إلى ذلك، تبيَّن للباحثين أن الأجسام المضادة أحادية النسيلة، الناتجة عن اللقاحين، كانت ناجعة في تحييد فيروس "سارس-كوف-2"؛ إذ استهدفت عددًا من محددات المستضدات المختلفة بنطاق الارتباط بالمُستقبِل، والمشتركة مع الأجسام المضادة أحادية النسيلة المعزولة من المتبرعين المصابين.

ورغم ذلك، لوحظ أنَّ كل طفرة من الطفرات K417N، و E484K، و N501Y، قد تسبَّبت إمّا في الحدّ من عملية التحييد، أو إبطالها بالكلّية، في 14 جسمًا مضادًّا (من أصل 17 جسمًا) من أنجع الأجسام المضادة أحادية النسيلة التي أخضعها الباحثون للاختبار. وقد حدث انتخاب لصالح تلك الطفرات عندما أجرى العلماء مزرعةً لفيروس التهاب الفم الحويصلي، الذي أُعيد تركيبه بحيث يعبِّر عن فيروس "سارس-كوف- 2" في وجود الأجسام المضادة أحادية النسيلة الناتجة عن اللقاحات.

تشير النتائج التي توصَّل إليها الباحثون، في جملتها، إلى ضرورة اختبار الأجسام المضادة أحادية النسيلة، المُستخدَمة إكلينيكيًّا ضد سلالات الفيروس حديثة الظهور، كما تُبرز الحاجة المُحتمَلة إلى تحديث اللقاحات القائمة على الحمض النووي الريبي المرسال (mRNA) بصفة دورية، تجنبًا لاحتمالية فقدان فعاليتها الإكلينيكية.

Z. *Wang et al.*
doi:10.1038/s41586-021-03324-6

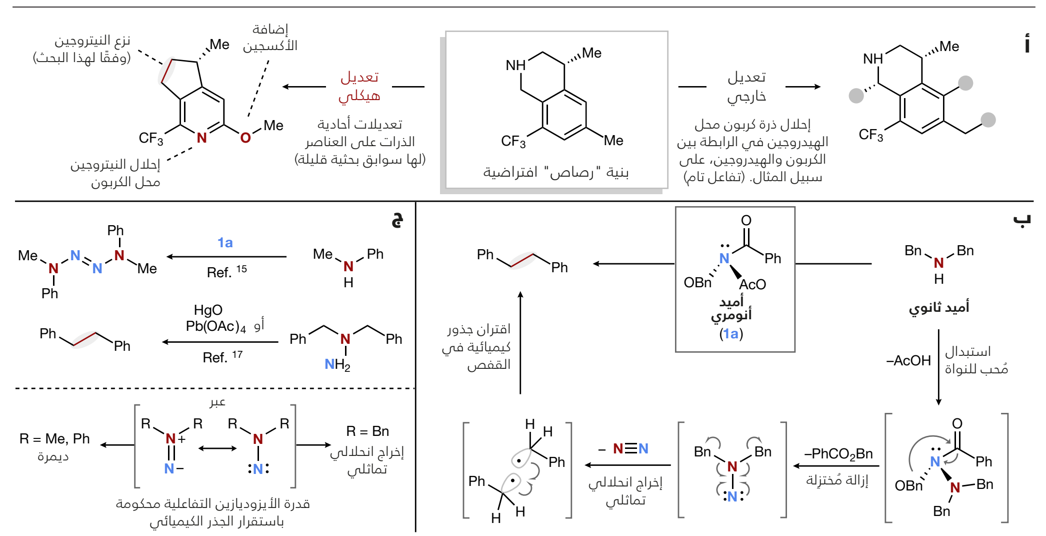
نزع ذرات الهيدروجين من جزيئات عضوية

تهدف الكيمياء التخليقية إلى الحصول على تعقيد جزيئي من مواد أولية بسيطة. غير أنَّ القدرة على إجراء تعديلات دقيقة، من شأنها إدخال تعديلات على ترابُط الهيكل الجزيئي نفسه، ما زالت محدودة، على الرغم من امتلاك إمكانات كبيرة لتوسيع الفضاء الكيميائي المتاح الوصول إليه.

وفي هذا البحث المنشور، تمكَّن الباحثون من استحداث تفاعُل "ينزع" ذرات النيتروجين من جزيئات عضوية. وأوضح الفريق أنَّ مركبات "N-بيفالُوي لوكسي-N-ألكوكسي أميدات"، التي تُعَد فئة فرعية من الأميدات الأنومرية، تعزز التنشيط الذي يحدث بين جزيئات الأمينات الأليفاتية الثانوية، لإنتاج جزيئات تقترن داخلها ذرتا كربون. وتشير التجارب الميكانيكية إلى أنَّ التفاعلات تستمر عبر مركّبات أيزوديازين وسيطة، تُخرِج ذَرّة النيتروجين في صورة جزيء ثنائي النيتروجين، لتُنتِج بذلك ذرات ثنائية الجذور الكيميائية، تكون قصيرة العمر، إذ سرعان ما تقترن لتُشَكِّل الرابطة الجديدة بين ذرتي الكربون.

وقد أظهر التفاعُل الذي ابتكره الباحثون قدرة كبيرة على تحمُّل المجموعات الوظيفية؛ ما يُتيح تحويل البروتوكولات المعتادة المُتَّبعة في تخليق الأمينات إلى استراتيجية يمكن تطبيقها على عمليات إنشاء الروابط فيما بين ذرات الكربون، وكذا تخليق الحلقات. ويتجلَّى ذلك في نجاح هذا التفاعل في إتمام عمليات تخليق مُركَّبات نشطة بيولوجيًّا، وتعديل هيكلها الجزيئي.

S. Kennedy *et al.*
doi:10.1038/s41586-021-03448-9



الشكل أسفله | خلفية. أ) مخطَّط يوضح المفهوم العام لتقنيات التعديل الهيكلي والتعديل الخارجي أثناء استخدامها في عمليات التحسين الجزيئي. ب) فرضية ميكانيكية لنزع النيتروجين مباشرة، مع الاستعانة بكواشف أميدية أنومرية. ج) نتائج دراسات سابقة، توصَّلَتْ إلى توليد الأيزوديازين من الأميدات الأنومرية، والنيتروجين من مركبات الأيزوديازين.

بِنى قابلة للانتفاخ مستوحاة من فن الأوريجامي

في تطبيقات متنوعة، بدءًا من أغطية الملاعب الرياضية إلى الأشرعة الشمسية، يُعتمد على قابلية بعض المواد للانتفاخ من أجل تصميم بِنًى كبيرة تستطيع الانكماش سريعًا إلى جزء من حجمها. ولطالما استُخدِم نَهْجان رئيسان لتصميم أنظمة قابلة للانتفاخ. يتضمن النهج الأول والأكثر استخدامًا آليات تقوم على عناصر طولية مترابطة تستطيع أن تنتفخ وتنكمش في آن واحد، وتبقى أحيانًا على حالها من خلال عناصر ذات طوري استقرار. أمَّا النهج الثاني، فيستخدم أغشية قابلة للنفخ، تتحول إلى الأشكال المُستهدفة من خلال مُدخل واحد لمصدر ضغط، بيد أنه لا يمكن بسهولة استخدام أي من النهجين لتصميم مجال مغلق يستطيع البقاء على حالته بعد الانتفاخ. وعلى سبيل المثال، يُعَد دمج غطاء واق في الإنشاءات القائمة على عناصر طولية موصلة ببعضها بعضًا أمرًا صعبًا، فيما تحتاج الأنظمة العاملة بالهواء

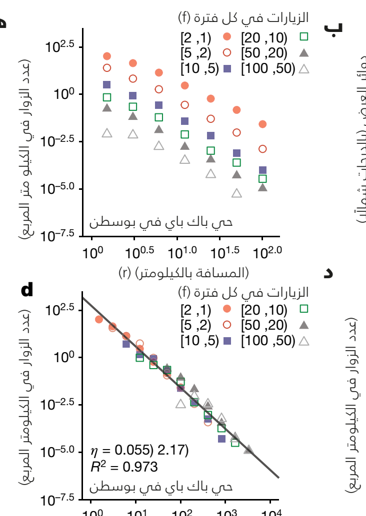
المضغوط إلى التعرُّض لضغط مستمر للاحتفاظ بشكلها المنتفخ.
وفي هذا البحث المنشور، يستوحي الباحثون فكرة من فن الأوريجامي – أي الفن الياباني لطَيّ الورق – لتصميم بِنًى قابلة للانتفاخ، يمكن توسعتها، ذات جدران جامدة، وحالات استقرار متعددة. ويسترشد الباحثون بتحليلات وتجارب هندسية لإنشاء مجموعةمن أشكال الأوريجامي ثنائية حالات الاستقرار، يمكن نفخها من مدخل واحد لمصدر ضغط مائع. بعد ذلك، يدمج الباحثون هذه الوحدات لإنشاء بِنًى عملية بأبعاد مترية، مثل الأقواس، وملاجئ الطوارئ. وهو ما يُتيح وسيلة مباشرة لإنشاء أنظمة كبيرة قابلة للانتفاخ، تبقى على حالها بعد توسعتها، وتحبس بإحكام الضغط عبر سطوحها الجامدة.

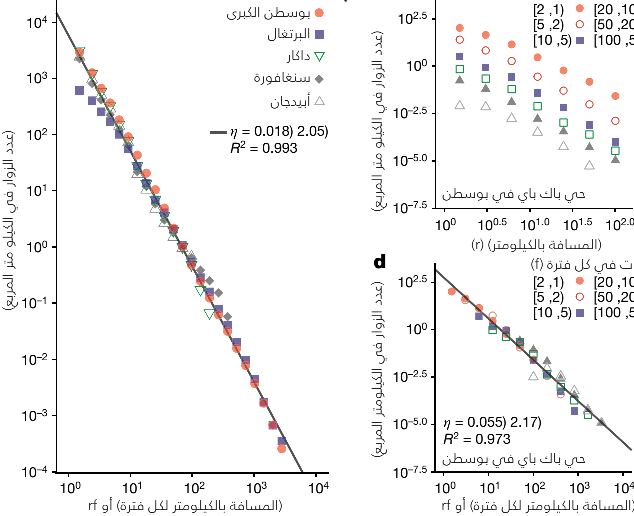
D. Melancon *et al.*
doi:10.1038/s41586-021-03407-4

القانون الشامل لتأثير الزيارات في التنقلات البشرية

يؤثر التنقل البشري في العديد من سمات المدن، بدءًا من بِنْيتها المكانية إلى استجابتها للجوائح. كما يُعَد في الأساس عاملًا شديد الأهمية في التفاعلات الاجتماعية، والابتكارات، والإنتاجية. ومع ذلك، لا يزال فهم الباحثين لِكَمّ تحركات الأفراد الإجمالي يشوبه نقص، إذ تركِّز النماذج الموجودة حاليًّا – مثل قانون الجذب، ونموذج الانتشار– بشكل صِرف على الاعتماد المكاني في تناولها لحركة تدفق التنقلات، ولا تُعبِّر عن تغيُّر وتيرة الزيارات المتكررة إلى الأماكن نفسها.
وفي هذا البحث المنشور، يكشف الباحثون قانون قياس بسيط ومُحْكَم، يُعبِّر عن المدين الزماني والمكاني لتحركات المجموعات السكانية على أساس بيانات تنقُّل واسعة النطاق، مأخوذة من مدن شتى في أنحاء العالم. ووفقًا لهذا القانون، يقل عدد الزوار الذين يترددون على أي مكان بما يوازي التربيع العكسي لحاصل ضرب عدد مرات زياراتهم في مسافة الانتقال. وفضلًا عن ذلك، يوضح الباحثون أنَّ حركة التدفق البشري المكانية والزمنية إلى الأماكن المختلفة تُسفِر عن ظهور تجمُّعات مكانية بارزة تتوزع على المساحات، وفقًا لقانون "زيف".
وأخيرًا، يُنشئ الباحثون نموذجًا لتنقُّلات الأفراد قائمًا على حركة استكشاف الأماكن، والعودة التفضيلية إليها ليقدِّموا به تفسيرًا ميكانيكيًّا لقانون قياس تنقلات الأفراد المُكتشَف، والبِنْية المكانية الناشئة. وتؤكد النتائج التي توصلوا إليها تخمينات قائمة منذ فترة طويلة في الجغرافيا البشرية (مثل نظرية الأماكن المركزية، ونظرية ويبر للتحسين الأمثل الناشئ)، كما أنها تفسح المجال أمام التنبؤ بحركات التدفق البشري المتكررة، وهو ما يتيح أساسًا لاستخدامها في التخطيط الحضري، وهندسة المرور، والتخفيف من حدة الأمراض الوبائية.

M. Schläpfer *et al.*
doi:10.1038/s41586-021-03480-9





الشكل أسفله | التوزيع الشامل لمسافة حركة تدفق السكان ووتيرتها. أ) عند كل موقع، يحسب الباحثون عدد الزوار الذين يعيشون على بُعد مسافة مقدارها [r,r+ δr) منه، ويزورونه بالوتيرة *f*. تشير ألوان الخريطة إلى الكثافة السكانية المستمدة من بيانات الهواتف المحمولة (عدد مستخدمي الهواتف المحمولة في كل خلية شبكية). **ب)** عند وتيرة ثابتة، رمزها *f*، يقل معدل تدفق الزوار إلى موقع معين، ويُرمز إلى هذا المعدل بالرمز *Pi (r,f)*، وذلك مع زيادة المسافة التي يُرمز إليها بحرف *r*. **ج)** عند تثبيت المسافة *r*، يقل معدل التدفق كذلك مع زيادة الوتيرة *f*. د) تنخفض القيم المُعدَّل نطاقها وفق هذه العلاقة انخفاضًا شديدًا على منحنى واحد، وهو ما يجعل حركات التدفق معتمدة على المتغير *rf* فقط. التوزيع الشامل لمسافة الزيارات ووتيرتها موصَّف وصفًا وافيًا بقانون علاقة أسية في صورة $\rho_i(r, f) = \mu_i/(rf)^\eta$، حيث الأس η يساوي 2 تقريبًا (η هو ميل خط الانحدار الأفضل مطابقةً، وفقًا لطريقة المربعات الدنيا). هـ) قيم حركات التدفق معدلة النطاق وفق العلاقة الأسية عبر كل المناطق محل الدراسة، وهي تُظْهِر أنَّ العلاقة الأسية نفسها تنطبق على مناطق حضرية مختلفة جذريًّا في مختلف أنحاء العالم. وتشير الرموز إلى قيم متوسطة عبر كل المواقع في كل منطقة. وللمقارنة بين مناطق العالم المختلفة بالنظر، وُضِعت المنحنيات الموضحة فوق بعضها، بالأخذ في الاعتبار الوضع المعتاد لتوزيع المسافات ووتيرة الزيارات لكل منطقة على حدة.

تَواصُل عالي الأداء يحيل أفكار الدماغ إلى نصوص

تستطيع أنظمة الحاسوب المتصلة بالدماغ (BCIs) أن تعيد القدرة على التواصل إلى الأشخاص الذين لم يَعُد باستطاعتهم الكلام أو الحركة. وحتى الآن، كان التركيز الرئيس لأبحاث أنظمة الحاسوب الموصلة بالدماغ مُنصبًّا على استعادة المهارات الحركية الكبرى، مثل مدّ اليد، والتقاط الأشياء، أو الكتابة بالإشارة والنقر من خلال مؤشر حاسوب ثنائي الأبعاد، إلا أن التتابع السريع للسلوكيات التي تتطلب درجة عالية من المهارة، مثل الكتابة اليدوية، أو الكتابة باللمس، يمكن أن يتيح إمكانية التواصل بمعدلات أسرع.
وفي هذا البحث المنشور، يعلن العلماء عن تطوير نظام اتصال بين الحاسوب والدماغ يُزرع داخل القشرة الدماغية، من شأنه أن يفك ترميز محاولات حركة الكتابة باليد، من خلال تحليل النشاط العصبي في القشرة الحركية، وترجمتها إلى نصوص في الوقت الحقيقي، باستخدام منهجية قائمة على فك ترميز الشبكات العصبية المتكررة. وبالاستعانة بالنظام الحاسوبي المذكور، استطاع المشارك في الدراسة، الذي يعاني شللاً في يده، جرّاء تعرّضه لإصابة في الحبل الشوكي، إحراز سرعات كتابة تبلغ 90 حرفًا في الدقيقة، بدقة مبدئية تبلغ 94.1% عبر الإنترنت، وبدقة تزيد على 99% من دون الاتصال بشبكة الإنترنت، باستخدام خاصية تصحيح تلقائي مخصصة للأغراض العامة. وعلى حد علم الباحثين، فإنَّ سرعات الكتابة هذه تفوق سرعات الكتابة المُبلَّغ عنها في حالة أي نظام دماغ وحاسوب آخر، بل إنَّها مماثلة لسرعات الكتابة المعهودة على الهواتف الذكية عند مَن هم في الفئة العمرية للفرد المشارك في الدراسة (115 حرفًا في الدقيقة). وختامًا، فإنَّ الاعتبارات النظرية تفسِّر سبب احتمالية أن يكون فك ترميز الحركات الصدغية المُعقدة، مثل الكتابة باليد، أسهل بصورة جوهرية من فك ترميز الحركات من نقطة إلى نقطة أخرى. من شأن نتائج هذه الدراسة أن تؤسس لمنهجية جديدة من منهجيات أنظمة اتصال الدماغ والحاسوب، وأن توضح مدى جدوى فك الترميز الدقيق للحركات السريعة التي تتطلب درجة عالية من المهارة بعد مرور سنوات على الإصابة بالشلل.

F. Willett *et al.*
doi:10.1038/s41586-021-03506-2

SPRINGER NATURE

springernature.com

RESEARCH DATA SERVICES FOR INSTITUTIONS



Help your researchers organise, share and get credit for their data.

Three services:

- **Research data training.** Hosted at your institution and delivered by our expert research data trainers
- **Research Data Support.** Your researchers submit a dataset, our research data experts create a detailed data record in a repository
- **Data availability reporting.** Track how your researchers are sharing data associated with articles in Springer Nature journals

partnerships.nature.com/research-data

A79796

مهن علمية



ارسل قصة مسيرتك المهنية
إلى: @Naturecareerseditor
nature.com

GETTY

كيف تكون قائدًا في كل مرحلة من مشوارك المهني؟

سواءٌ أكنتَ طالب دكتوراه أم رئيس مؤسسة بحثية، ثمة أدوات وممارسات تعينك على تعظيم أثر أفكارك، وتعزيز تطورك المهني، ومساعدة الآخرين على إخراج أفضل ما لديهم. **كريس وولستُن**

كان على أوستِن جراي أن ينتظر حتى شهر مايو ليبدأ العملَ في مختبرِه، ولكنه ليس حديث عهدٍ بالقيادة وممارساتها. حصلَ جراي، وهو متخصص في مجال السموم المائية، على شهادتَي البكالوريوس والماجستير من كُلّية "ذا سيتادِل" The Citadel (أو "القلعة")، وهي مؤسسة تعليمية عسكرية في مدينة شارلستُن بولاية ساوث كارولاينا بالولايات المتحدة. في ساحة الكلية، يصطفُّ الطلبة حاملين بنادقهم، ويسيرون في خُطًى منتظمة على إيقاع المارش العسكري، ويخضعون دوريا لتفحّص بِزّاتهم، ويؤدون التحية العسكرية لمن يعلونهم في الرتبة.

في مختبرات "ذا سيتادِل"، أشبع جراي رغبته في أن يدلف الحقل العلمي. وخارج تلك المختبرات، ترقَّى الباحث الشاب سريعًا في الرُّتب العسكرية، حتى أصبح، بحلول العام الأخير في دراسته الجامعية، في 2012، قائد سَريّة، وهي رتبة جعلته قائدًا على 105 من زملائه. لم تَخْلُ رحلة تَرَقِّي جراي من صعوباتٍ واجهَتْه على المستوى الشخصي، إلا أنها كانت أيضًا شاهدًا على التغيير الذي حدث في الولايات المتحدة؛ فجراي رجل أسود، بينما كلية "ذا سيتادِل" مؤسسة تضرب بجذورها في ثقافة جيش الجنوب، الذي حارب ضد القوى الاتحادية في الحرب الأهلية الأمريكية للإبقاء على نظام استعباد السُّود؛ بل إن راية جيش الجنوب لا تزال مُشْرَعة فوق الكنيسة الصغيرة المُلحَقة بالمؤسسة. يقول جراي: "كنتُ ثاني قائد سرية من العرق الأسود في تاريخ الكُلّية"، وهو الذي كان، حتى شهر مارس الماضي، باحثًا في درجة ما بعد الدكتوراه في جامعة ديوك الأمريكية، التي يقع مقرها في مدينة دُرَم بولاية نورث كارولاينا.

يدرك جراي أن إدارته مختبرًا بحثيًا ستكون مختلفةً عن قيادة زملائه في الكلية العسكرية، ولكنه واثق أيضًا أن المهارات التي اكتسبها سوف تُعينه على إصابة نجاح في وظيفته الجديدة، بوصفه أستاذًا مساعدًا على مسار الوظيفة الدائمة بالجامعة والمعهد التقني لولاية فيرجينيا (التي يُطلق

عليها جامعة فيرجينيا التقنية، أو "فيرجينيا تِك")، ومقرُّها مدينة بلاكسبرج الأمريكية. فلِكَي يبلغ الباحث الشاب رتبة قائد سرية، كان عليه أن يتعلم كيف يتواصل بكفاءة مع أفراد ذوي خلفيات مختلفة، وأن يحظى باحترامهم، وأن يطبِّق هو نفسه كل ما يطلبه من الآخرين، ليكون مَثلًا يُحتذَى. وكلها مهارات مفيدة في الحياة المدنية – والبحث العلمي من حقولها – كما هي في الحياة العسكرية. يقول الباحث: "لولا التجربة التي مررتُ بها في الكلية العسكرية، لما توفرَتْ لدَيّ مهارات القيادة التي أحوزها اليوم".

وترى كيت جنِنجز، المدربة الرئيسة في برنامج "من المختبر إلى القيادة"، التابع لمؤسسة "كامبردج إجزيكِتيف ديفيلوبمنت" Cambridge Executive Development، المعنيَّة بالتطوير المهني، ومقرُّها المملكة المتحدة، أنَّ الباحث يستطيع في كل مرحلة من مراحل مسيرته المهنية في الحقل العلمي أن يبدأ في تطوير المهارات التي من شأنها أن تعزز فرصه في أن يكون قائدًا، في مختبره الخاص، أو في غيره من مواقع العمل العلمي (انظر: "مفاتيح القيادة"). تُعِين المهاراتُ القيادية الباحثين على الترويج لأفكارهم، وإعطاء دَفعةٍ لمسيرتهم المهنية، ولكنَّ ثمة باحثين يتحفظون ويترددون في قبول دور القائد. وكثيرًا ما رأَتْ جننجز ذلك رُؤيا العين: باحثين عباقرة في مختبراتهم، ولكنهم يخفقون في تشجيع زملائهم ومرؤوسيهم، وشحذ هِممهم.

منظور جديد

لكي يكون العالِم قائدًا بحق، من وجهة نظر جنِنجز، لا بد له من تكوين علاقات قوية مع المحيطين به؛ وهي مهارة غالبًا ما تتطلَّب اتباع منهج جديد في التفكير. وتقول: "صحيح أن العالِم بحاجة إلى أن يتحلَّى بدرجة عالية من التصميم، والقدرة على أداء العمل الفردي، إلا أن العوامل التي أسهمَتْ في نجاحه على المستوى الشخصي قد لا تُصيب النجاح ذاته عند محاولة إخراج أفضل ما لدى الآخرين".

تخلع المهارات القيادية على صاحبها ميزاتٍ هائلة في مجال بيولوجيا الثدييات المائية، وهو مجال تشتد فيه المنافسة البحثية، على حد قول ريبِكا بويز، وهي طالبة في عامها الثاني من برنامج الدكتوراه بجامعة أوكلاند في نيوزيلاندا. منذ مرحلة مبكرة من حياتها المهنيّة، لم تفوِّت بويز فرصة للمبادرة لتحسين مهاراتها القيادية. وكلما سنحَتْ فرصة، حرصَتْ على اغتنامها في التعريف بعملها البحثي. وخلال سنوات دراستها الجامعية بجامعة بانجور البريطانية، شاركَتْ الباحثة الشابة بعمل تطوعي في المؤتمر السنوي لجمعية الثدييات المائية الأوروبية، إذ عاونَتْ فريق التسجيل في المؤتمر، وأسهمت في تسويق المنتجات التذكارية التي عُرِضَتْ على هامش المؤتمر. تكرَّر ذلك من الباحثة في ثلاثة مؤتمرات، تعرَّفَتْ فيها إلى باحثِين في مختلف المراحل المهنية، وتواصلَتْ معهم عن كَثَب. وعلى أثر جهودها تلك، انتخبها زملاؤها لتكون ممثلة الطلبة في إدارة المؤتمر. تَضمَّن هذا الدور قيادة فريق الطلبة المتطوِّعين، وتنظيم الفعاليات الطلابية في المؤتمر. كما أتيح لها العمل جنبًا إلى جنبٍ مع غيرها من أعضاء لجنة تنظيم المؤتمر، التي ضمَّت لَفيفًا من الباحثين البارزين في مجال الثدييات المائية. وعلَّقت على ذلك بقولها: "كانت فرصةً ليعرفني هؤلاء الباحثون".

تحرص بويز دومًا على لَفْت الأنظار إلى عملها ومهاراتها. فقد كانت ضمن فريق الطلاب المساهمين في تنظيم المؤتمر الدولي للثدييات المائية، الذي عُقد عام 2019 في مدينة برشلونة الإسبانية. ثم إنها اختيرَتْ عضوةً بلجنة قسم الطلاب بفرعَي جمعية الثدييات المائية الدولية في كل من نيوزيلاندا وأستراليا. وعبر هذا الدور الذي تؤديه الباحثة،



ANA FLÁVIA NOGUEIRA

تحاول عالِمة الكيمياء آنا فلافيا نوجويرا اكتشاف مصادر تمويل جديدة لدعم شباب الباحثين.

تُتاح لها المشاركة في تنظيم المؤتمرات، واستقدام الرُّعاة. تقول: "إنها طريقة رائعة لإبراز قدراتي الإدارية والتنظيمية لمُدرائي والمُشْرِفين على عملي مستقبلًا".

لا تعرف الباحثة بعدُ أيَّ طريقٍ ستسلُك في مسيرتها المهنية. قد تلتحق بمؤسسة للحفاظ على الثروات المائية الطبيعية، وربما يتسنَّى لها في نهاية المطاف أن تُدير مختبرها الجامعيَّ الخاص. ولكنها تعرف أن ما يجتمع لها من مهارات وخبرات قيادية سيفتح لها أبوابًا، ويهيِّئ لها أسباب النجاح في مجالها البحثي، الذي تستعر فيه المنافسة على اقتناص الوظائف. وتقول: "أنصح كل الطلاب في حقل علم الأحياء البحرية بأن يسعوا إلى أداء أدوار تمكِّنهم من تطوير مهاراتهم القيادية".

> "كان اهتمامنا الأول ألا يتعثَّر الباحثون خلال الجائحة".

لمهارات القيادة أهمية خاصة لدى باحثِي ما بعد الدكتوراه، بحسب قول ماثياس بارث، الباحث في شؤون التعليم العالي بجامعة ليوفانا، بمدينة لونيبرج الألمانية. بارث عضو في الفريق الذي يتولى إدارة برنامج "أكاديمية باحثي ما بعد الدكتوراه للقيادة التحويلية"، وهو برنامج تدريبي يستهدف الباحثين في مجال حفظ البيئة واستدامة الموارد. صحيح أنَّ باحثي ما بعد الدكتوراه مطالَبون برفع إنتاجهم من الأعمال البحثية، وما يستلزمه ذلك من تجميع للمصادر والاستشهادات، ولكن عليهم أيضًا أن يتعلموا كيفية التواصل مع كل الجهات ذات الصلة بحقلهم البحثي، ليضمنوا أن لأفكارهم الأكاديمية أثرًا في عالم الواقع. ويؤكد بارث أنه "لا مجال للاختيار" ما بين التركيز على الأبحاث، والتركيز على التواصل؛ إذ "ينبغي الجمع بين الأمرين كليهما".

من بين الأهداف الأساسية لبرنامج التدريب، معاونة باحثي ما بعد الدكتوراه على تعلُّم مهارات التعارف والتواصل داخل مجال "متشعِّب" مثل مجال أبحاث حفظ الموارد والاستدامة؛ ذلك أنه يضم باحثين من مشارِب بحثية متنوعة، منها الفيزياء، والكيمياء، والعلوم السياسية، وعلم الاجتماع. ويقول بارث إن هذا المجال يُملي على الباحثين المنضوين تحته "أن تتوفر لهم مهارة تقسيم المسائل البحثية الكبيرة إلى جزئيات محددة، وتوزيعها بينهم كفريق"، كلٌّ على حسب تخصصه. في سياق كهذا، تمثل مهارات التواصل أحد أهم متطلبات القيادة، وفقًا لبارث، الذي وجَّه حديثه إلى باحثي هذا المجال قائلًا: "عليهم أن يتوصلوا إلى لغة مشتركة، تكون مفهومة لكلٍّ منهم، على اختلاف تخصصاتهم الأكاديمية، وتتيح التحاور فيما بين تلك التخصصات".

يذهب بارث إلى أن الباحثين الذين يَقصرون تركيزهم على عملهم البحثي، ويتجاهلون مهارات القيادة، إنما يُعَرِّضون أنفسهم للإخفاق في المراحل التالية في مسيرتهم المهنية. ومن ثم، يرى أن تنظيم المزيد من برامج التدريب على المهارات القيادية، الموجَّهة تحديدًا إلى باحثي ما بعد الدكتوراه، من شأنه أن يؤتي ثمارًا مهمة في المستقبل. بغير تلك البرامج، سيكون الباحثون مطالَبين بأن يتعلَّموا تلك المهارات بأنفسهم، إلا أنهم في الواقع قلَّما يُقبِلون على تعلُّم تلك المهارات وإتقانها، على حد قول بارث، الذي أضاف: "لباحثي ما بعد الدكتوراه دور بالغ الأهمية في حقل البحث العلمي، ولكن لا توجد برامج كافية لدعمهم".

إدراكًا لتلك الأهمية، أولَتْ إيفيلين جيتاو، مديرة برنامج تعزيز الكفاءة البحثية، التابع لمركز أبحاث السكان والصحة الأفريقي بالعاصمة الكينية نَيروبي، اهتمامًا بالغًا إلى تقديم الدعم لزملائها، ووضعَتْه على رأس أولوياتها، بوصفها قائدةً في مضمار البحث العلمي. وقد كان العام الماضي بمثابة امتحان لمدى صمود تلك الأولوية. تقول: "كان اهتمامنا

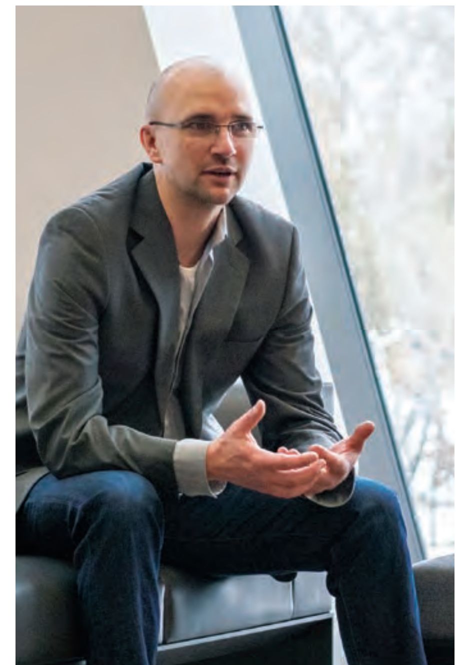
الأول ألا يتعثَّر الباحثون خلال الجائحة. فإذا كان الطلبة بحاجة إلى المساعدة لتحسين مهاراتهم، فإنهم أحوَج إلى هذه المساعدة للإبقاء على حظوظهم في إكمال الدراسة في أوقات الأزمات".

الصبر من شيَم القادة

تعاونت جيتاو وفريقها مع مؤسسات عديدة لدعم طلبة الدكتوراه. ومن هذه المؤسسات، مؤسسة الدعم الخيري للأبحاث الطبية "وِلكم" Wellcome، ومقرها لندن، التي وفرت لباحثي الدكتوراه صورًا شتَّى من الدعم، منها الدعم المالي، بحيث يُتاح للباحثين وقت أطول للانتهاء من دراسة الدكتوراه، ولا سيما الباحثين المُثقَلين بنفقات أطفالهم. غير أنَّ جيتاو، قبل أن تطلب مزيدًا من التمويل، كان عليها أن تتوثَّق من أنَّ برنامج تعزيز الكفاءة البحثية الذي تديره كان يعمل بأعلى كفاءة ممكنة. ومن هذا المنطلَق، أخضعت كل عنصر في ميزانية البرنامج للفحص والتدقيق، بحثًا عن أي فرصة للتوفير أو الاقتصاد. ترى جيتاو أن كفاءة القيادة تتطلَّب أحيانًا شيئًا من الصبر على أداء المهام التي قد تُصيب المرءَ بالضجر، وتقول: "كانت العملية مُمِلَّة للغاية، ولكنها كانت ضرورية لإقناع جهات التمويل".

تَلَقَّت جيتاو أول مِرانٍ لها على المهارات القيادية في مرحلة مبكرة؛ فقد بدأت حياتها المهنية في ميدان البحث العلمي قبل نحو عقدين، حين كانت منظومة البحث في القارة الأفريقية على أعتاب توسُّع ونمو سريعَيْن. ومن هنا، كان حرص جيتاو على أن تكون عنصرًا فاعلًا في ذلك التوسع. تقول: "بوصفي باحثة ما بعد الدكتوراه، آنذاك، شاركتُ في لجان بناء الكفاءات، وتقدَّمتُ لإنشاء منظومة لتنظيم البيانات وإدارتها في المختبر الذي كنت أعمل به".

وفي بقعة أخرى من العالَم، تعكف آنا فلافيا نوجويرا، عالِمة الكيمياء بجامعة كامبيناس البرازيلية، على وضع ما يتوافر لديها من مهارات قيادية في خدمة الآخرين، ودعمهم. تدير نوجويرا مركز الابتكار والطاقات الجديدة، وهو معهد بحثي تموله الحكومة البرازيلية بالتعاون مع شركات من القطاع الصناعي في البرازيل. وبحُكم منصبها هذا، تُشرِف



يستطيع باحثو ما بعد الدكتوراه اكتساب المهارات القيادية عن طريق المران، حسبما أشار ماثياس بارث، الباحث في شؤون التعليم العالي.

على نحو 240 باحثًا، بينهم كثرة من باحثي الدكتوراه وما بعد الدكتوراه. ويُنتظَر أن تنفد الزمالات البحثية المتاحة لباحثي ما بعد الدكتوراه بحلول نهاية العام الجاري، ولذا تقود نوجويرا جهودًا ترمي إلى تحصيل التمويل مجدَّدًا لبرامج الزمالة. وتلك مهمة تتطلب من نوجويرا تسخير كل ما لديها من مهارات الإقناع. تقول: "إننا نواجه صعوبة في إقناع المؤسسات المموِّلة بأننا نحتاج ضخًا ماليًا طارئًا لسد العجز المتزايد في ميزانيتنا".

شراكات في ظل الجائحة

تقول نوجويرا إن الخطر نفسه محدقٌ بالزمالات البحثية لطلاب الدكتوراه، وذلك بسبب غياب التمويل الحكومي. ومن ثَمّ، فإنها تتواصل مع عددٍ من شركات القطاع الخاص، من أجل استحداث شراكات لدعم باحثي الدكتوراه وما بعد الدكتوراه، الذين صارت مسيرتهم المهنية أقل استقرارًا بسبب الجائحة. كما لجأت نوجويرا أيضًا إلى المؤسسات البرازيلية التي تقدِّم مِنَحًا للأغراض البحثية، إذ طلبت منها زيادة حجم التمويل للمنح الدراسية. وقالت: "نِصف الباحثين لدي سيفقدون وظائفهم بنهاية العام الجاري. وما لم أحصل على التمويل اللازم في عام 2021، فلن تتوفَّر لديَّ الموارد البشرية التي سأحتاج إليها في 2022".

في سبتمبر من عام 2020، حصلت نوجويرا على جائزة "القيادة في الحقل الأكاديمي للباحثات البرازيليات في مجال الكيمياء"، المقدَّمة من منظمة "أخبار الهندسة والكيمياء"، والجمعية الأمريكية للكيمياء. تقول نوجويرا إن الجائزة كانت بمثابة دعم لمنظورها في القيادة، وهو منظور يضفي أهمية على العلاقات الشخصية، دون التخلي عن صرامة الأهداف، والتمسك بتحقيقها. ثم إنها كانت تقديرًا لجهودها في تطوير مواد مبتكرة للخلايا الكهروضوئية. وتقول نوجويرا إنها تعرَّضَتْ لضغوطٍ هائلة طوال مسيرتها المهنية في سبيل إثبات أن النساء قادرات على شَغْل المناصب القيادية. وفي أحيان كثيرة، تجد نفسها مطالَبة ببذل جهدٍ أكبر مما يبذله أقرانها الرجال للدفاع عن قراراتها. النقطة الأهم، وفقًا لنوجويرا، تكمُنُ في أن تكون القرارات من الوجاهة والإحكام بحيث تصمُد للمراجعة والتمحيص. وتقول: "يُظهِر بعض الزملاء مقاومةً للأوامر إذا ما صدرَتْ من سيدة. صحيحٌ أنهم يتقبلونها في النهاية، لأن هذا ما يجب أن يكون، وصحيح أنني أنجح في إنجاز ما اعتزمتُ إنجازه، ولكن ذلك يستغرق وقتًا أطول، ويستلزم جهدًا أكبر".

وبالعودة إلى جراي، الذي يتطلع إلى أن يضع ما اكتسب من مهارات القيادة موضع التطبيق والاختبار في وظيفته الجديدة في "فيرجينيا تك"، فإنه يقول: "آملُ أن يكون سلوكي مثالًا يرى فيه الزملاء كيف يتصرف الباحث داخل المختبر، وكيف يُجري بحثه"، ويضيف: "الأمر بالنسبة لي هو استحضار للقيم الجوهرية التي تعلَّمتها في الكلية العسكرية. فقد عشنا هناك وفق منظومة صارمة، لا مكان فيها للكذب، أو الخداع، أو السرقة، ولا يُقبَل فيها التهاون مع مَن يقترف أيًّا من تلك الممارسات. كان يتعين علينا دومًا أن نتحلّى بالصدق والنزاهة فيما نُجري من بحث".

ومما يُذكَر عن جراي أيضًا أنه عضو مؤسس للجنة التنوع الشامل، التابعة لجمعية باحثي السموم البيئية بأمريكا الشمالية، ويشارك في إدارتها. وعن هذا الدور، الذي يتطلب درجةً عالية من الدأب والقدرة على الإقناع، يقول جراي: "يظنُّ كثيرون أنهم يؤدون دورهم كما ينبغي في تعزيز التنوُّع في الأوساط البحثية"، وتابع بقوله: "ولكن عندما نقول لهؤلاء إن في إمكاننا فعل المزيد، فإننا قد نلقى منهم كثيرًا من المقاومة، وكثيرًا من السُّخط".

مفاتيح القيادة

لكي تكون قائدًا ناجحًا، تحتاجُ إلى اكتساب بعض المهارات، وتبنِّي منظورٍ بعينه. إليك ثلاث نصائح مفيدة لتحصيل كليهما.

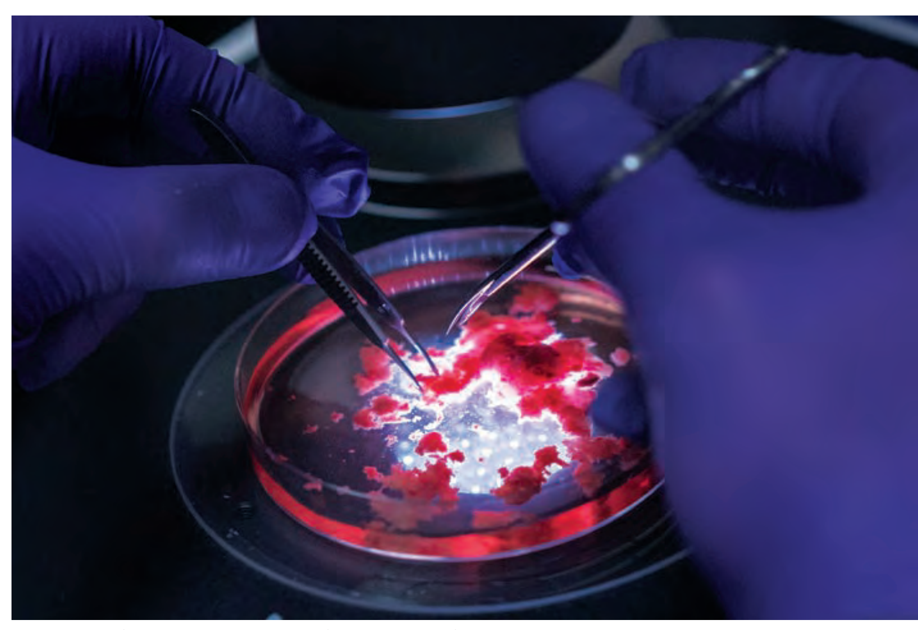
اعرف ذاتك. تقييم "الذكاء الشعوري" وتعزيزه أمران في غاية الأهمية. ويُقصد بالذكاء الشعوري الوعيَ بما يختلج في النفس من انفعالات، والتعبير عنها بصورة سوية لدى التعامل مع الغير. وبالنسبة إلى كثير من الباحثين، تبقى مسألة الوعي بالذات – وما يعرض لها من انفعالات – من أهم المسائل التي ينبغي الانتباه إليها، والعناية بها تحسينًا وتطويرًا. فحريٌّ بالباحثين المتطلعين إلى القيادة أن يتبصَّروا بكيفية استقبال الآخرين لمواقفهم وسلوكياتهم، كما أشارَتْ جننجز، المدربة لدى شركة التطوير المهني "كامبردج إجزيكِتيف ديفيلوبمنت"، الكائنة بالمملكة المتحدة.

حافظ على إيجابيتك. خلال الأوقات العصيبة، قد يكون التفاؤل موردًا شحيحًا، ولكنَّ القادة المُجيدين قادرون على الغوص فيما وراء أسباب الجَزَع، ليجدوا مصادر التفاؤل، وفقًا لما أفادَت به الباحثة آنا فلافيا نوجويرا، بجامعة كامبيناس البرازيلية. تقول نوجويرا: "من واجبي أن أبثَّ التفاؤل في طلابي؛ فبدون الأمل، لا يستطيعون المضيَّ قدُمًا، والتطلع إلى المستقبل". وأضافت أن الصعوبة إنما تكمُن في الموازنة ما بين التفاؤل والواقعية، وفي التوثق من أن تفاؤلنا لا ينال من دقة حُكمنا على الواقع ومعطياته.

تحلَّ بالمرونة على الدوام. تَشغل إيفيلين جيتاو منصب مديرة برنامج تعزيز الكفاءة البحثية لدى مركز أبحاث السكان والصحة الأفريقي، بالعاصمة الكينية نَيروبي، ويُملي عليها عملها أن تُكيِّف أسلوبها ليتوافق مع هؤلاء الذين تتواصل معهم على نحوٍ منتظم. فعملها الحالي يتطلب شخصية جادة، صارمة، بالنظر إلى أنها تتواصل في أكثر الأحيان مع مسؤولين رفيعي المستوى، في الجامعات وغيرها من مؤسسات البحث العلمي. أما عملها السابق، لدى الأكاديمية الأفريقية للعلوم، فكان يتطلب شخصية مختلفة. تقول: "عملي في مجال الابتكار البحثي كان يُحتِّم عليَّ أن أكون قائدةً تبثُّ فيمن حولها حيوية وحماسًا. وهذا دورٌ يختلف كثيرًا عن الدور الذي أؤديه الآن".

في دورَيْه المشار إليهما، في "فيرجينيا تك" ولجنة التنوع، يأمل جراي أن يطور مهاراته القيادية باستمرار، بينما هو منخرطٌ في النهوض بأعباء الوظيفتين. ففي نظره، كما في نظر آخرين، القيادة مهارة لا يمكن الاكتفاء منها، أو إتقانها إتقانًا لا مزيد عليه؛ إذ هناك دومًا متسع للتطوير والتحسين. يقول جراي: "أعتزم أن أكون دائمًا أمينًا مع نفسي، وأن أكون في حالة تعلُّم واستقبال للمعرفة".

كريس وولستُن صحافي مستقل، يقيم في ولاية مونتانا بالولايات المتحدة.



JESSICA KOURKOUNIS/THE WASHINGTON POST/GETTY

يمكن استخدام قطع صغيرة من ورم دماغي لدى مريض مصاب بورم أرومي دبقي لزراعة أنسجة شبه عضية دماغية، من أجل دراسة دور الخلايا الجذعية السرطانية في الإصابة بالمرض.

تتبع جذور السرطان

تساعد أدوات علم الأحياء النمائي الباحثين على تتبع الخلايا الجذعية السرطانية الغامضة، ومن ثم الكشف عن كيفية نمو الأورام، ومراوغتها للعلاجات. **جيوتي مادهوسودانان**

جلس أرنولد كريجشتاين وأعضاء فريقه يراقبون الخلايا السرطانية وهي تنطلق عبر طبق الاستزراع، قاطعةً في بعض الأحيان مسافات تبلغ ثلاثين ضعف طولها في الساعة السابقة لانقسامها. في العادة تكون الخلايا الوحيدة التي يُلاحظ تحرُّكها بمثل هذه السرعة هي بعض الخلايا الجذعية الجنينية أثناء نمو دماغ الجنين، إلا أن الخلايا السرطانية تلك كانت مأخوذة من ورم أرومي دبقي، وهو نوع من أورام الدماغ يصعب علاجه، ويرجع ذلك بصفة جزئية إلى انتشاره السريع.

يقول كريجشتاين، الباحث في علم الأعصاب النمائي بجامعة كاليفورنيا في سان فرانسيسكو (UCSF)، إن ذلك السلوك يشير إلى أوجه تشابه بين الخلايا السرطانية والخلايا الجذعية التي تلعب دورًا مهمًّا في نمو الأجنة. وأوضح قائلًا: "في كثير من الأحيان، تكون إعادة تنشيط برامج التعبير الجيني المقصورة عادةً على التطور الجنيني جزءًا من الكيفية التي تتحول بها الخلية السليمة إلى خلية سرطانية". ولهذا أراد كريجشتاين البحث في تلك الصلة المزعومة.

قام فريق كريجشتاين، من خلال العمل مع ديفيد رالي، طبيب علاج الأورام بالإشعاع بجامعة كاليفورنيا في سان فرانسيسكو، بتقسيم عينات الورم الأرومي الدبقي إلى مجموعتين، إحداهما غنية بالخلايا الشبيهة بالجذعية سريعة الحركة، والأخرى تحتوي على خلايا تمايزت إلى نوع أكثر نضجًا من الخلايا السرطانية. زرع الباحثون كل مجموعة من الخلايا بشكل منفصل في أنسجة شبه عضية تشبه أنسجة الدماغ البشري، وهي هياكل بسيطة تحاكي الدماغ، متوقعين رؤية الخلايا الشبيهة بالجذعية هي فقط التي تعيد تكوين الورم الأصلي. ومما أثار دهشتهم أن كلتا المجموعتين أعادتا إنتاج جميع أنواع الخلايا السرطانية[1]. ويقول كريجشتاين: "لقد بدأنا بالخلايا التي كان منها في الغالب نوع واحد فقط في كل مجموعة، وانتهى بنا الأمر بمجموعة شديدة التباين، لكنْ كيف حدث ذلك؟ لا يزال الأمر غامضًا جدًّا".

منذ تسعينيات القرن الماضي، اشتبه الباحثون في أن السر وراء عودة ظهور المرض، وانتشار السرطان (أو التَّقيلة)، ومقاومة العلاجات، يكمن في الخلايا الجذعية الموجودة في الأورام السرطانية، لكنْ على ما يبدو أنّ الخلايا الجذعية السرطانية لا يمكن توصيفها، إذ إنّ تلك الخلايا لا تحمل علامات جزيئية محددة، وقد لا توجد في جميع الأورام، كما إنها، وهو ما يبعث على الإحباط الشديد، لا ترتبط بشكل كبير بمدى شراسة المرض، أو نتائج العلاج.

يقول لويس فيرميولين، الباحث في الخلايا الجذعية بالمراكز الطبية التابعة لجامعة أمستردام: "في بعض أنواع السرطان، تعمل جميع الخلايا تقريبًا كخلايا جذعية، وفي أنواع أخرى يكون هناك تسلسل هرمي واضح للخلايا الجذعية والخلايا السرطانية الأكثر تمايزًا. يتلخص النقاش الدائر في الواقع في السؤالين التاليين: كم عدد الخلايا الجذعية في نوع معين من السرطانات؟ وهل هي دائمًا نفس الخلايا؟"

للإجابة عن السؤالين، يسعى علماء بيولوجيا السرطان إلى توسيع نطاق مجموعة الأدوات التي يستخدمونها، فبالإضافة إلى أساليب الاستزراع المُحسَّنة، مثل الأنسجة شبه العضية التي استخدمها فريق كريجشتاين، يستغل الباحثون حاليًّا أساليب مستمدة من علم الأحياء النمائي، ومن بينها أسلوب تتبُّع السلالات، وهو من الأساليب الشائعة لتعقب كيفية نمو الخلايا الجنينية، وتمايزها إلى أنسجة بالغة. ويمكن أيضًا لهذا النهج أن يكشف عن كيفية إعادة خلية سرطانية واحدة تشكيل التنوع الجيني الملاحَظ في الورم الأصلي الذي تنتمي إليه تلك الخلية. ويعكف علماء بيولوجيا السرطان حاليًّا على دمج هذا النهج مع الأساليب القائمة على خلية مفردة، لتكوين صورة أوضح تُبيِّن ما إذا كانت الخلايا الجذعية السرطانية تُحفِّز حدوث المرض، أم لا، وكيفية حدوث ذلك.

توسيع نطاق الاستزراع

كان الدافع من وراء قرار كريجشتاين ورالي باستخدام الأنسجة شبه العضية هو الافتقار إلى نماذج حيوانية جيدة، إذ يصعب زرع الأورام الأرومية الدبقية في الفئران والجرذان، على سبيل المثال، لكنْ يمكن للأنسجة شبه العضية أيضًا أن توفر بيئات مناسِبة للأنسجة البشرية أكثر مما توفره الخصائص البيولوجية للقوارض، كما أنها سهلة الاستخدام بشكل مدهش، حسبما تقول أبارنا بادوري، وهي باحثة في مرحلة ما بعد الدكتوراة، وعضو سابق في فريق كريجشتاين. يتمكن الباحثون بالنظر من خلال المجهر فحسب من نقل خلايا الورم إلى سطح الأنسجة شبه العضية، ثم ينتظرون لمدة 45 دقيقة تقريبًا حتى تتشكل الأورام. تقول بادوري: "إنها طريقة أسهل بكثير من التجارب التي تُستخدَم فيها الحيوانات".

ومع ذلك، لا يمكن للأنسجة شبه العضية أن تحل محل الحيوانات، إذ إن هياكلها تفتقر إلى الأوعية الدموية، وبالتالي لا يمكنها توضيح كيفية تفاعل الأورام مع الدورة الدموية، كما إنها شديدة التباين، كما تقول بادوري، التي تترأس الآن مختبرها الخاص ببيولوجيا الخلايا الجذعية بجامعة كاليفورنيا في لوس أنجيليس. تقول بادوري: "ربما نكون في حاجة إلى مزيد من التحسينات في هذا الصدد، لكي نتأكد من أننا نحصل من خلال النهج المتبع على جميع أشكال التنوع التي قد تكون موجودة في أي ورم".

ومما يزيد الأمر صعوبة، كما يقول جيريمي ريتش، عالِم الأورام العصبية في المركز الطبي بجامعة بيتسبرج في بنسلفانيا، أن للأنسجة شبه العضية متطلبات غذائية ونمائية مختلفة عن الخلايا الموجودة في المستزرعات التقليدية، وهو ما يجعل من الصعب استخدامها في الدراسات عالية الإنتاجية. يستخدم الفريق البحثي لريتش الطباعة الحيوية، وهي عملية مشابِهة للطباعة الثلاثية الأبعاد، التي تستخدم الخلايا ووسائط الاستزراع محل المواد الخاملة، لدراسة كيف تسهم الالتهابات وجهاز المناعة في تشكيل سلوك خلايا الورم الأرومي الدبقي. يُعَد الخلل المناعي جزءًا أساسيًّا في العديد من السرطانات، ولكنْ تصعُب دراسته في الأنسجة شبه العضية والنماذج الحيوانية، فالأنسجة شبه العضية لا تمتلك جهازًا مناعيًّا، والنماذج الحيوانية مُصمَّمة لكي تكون ضعيفة مناعيًّا حتى يمكن لخلايا الورم البشرية أن تنمو بداخلها.

يطبع ريتش وزملاؤه الهلاميات المائية باستخدام مزيج من أنواع مختلفة من الخلايا والمواد الأولية، مثل حمض الهيالورونيك. وعند طباعة الهلاميات المائية، يشكل وسط النمو المكون من تلك الهلاميات سقالة ثلاثية الأبعاد مزروعة بخلايا يمكن استخدامها كنموذج للورم. وعندما جرَّب ريتش وفريقه ذلك النهج باستخدام خلايا جذعية مأخوذة من ورم أرومي دبقي ممزوجة بمجموعات مختلفة من خلايا عصبية أخرى، لاحظوا أنه في وجود الخلايا المناعية المعروفة باسم الخلايا البلعمية، عبرت خلايا الورم عن جينات مرتبطة بقدرة أكبر على الغزو ومقاومة العقاقير لدى الأشخاص المصابين بالورم الأرومي الدبقي[2]. اكتشف الباحثون أيضًا أن الخلايا الجذعية المُستزرَعة في وسط أنواع أخرى من الخلايا أخذت تحاكي نفس سلوكها في العالَم الواقعي، ما يشير إلى أن بيئة الأنسجة لها دور بارز في تحديد تمايز الخلايا الجذعية.

وعلى نحو مشابه، وجدت سيلفيا فري، عالمة بيولوجيا الخلايا بمعهد كوري في باريس، أن أنسجة الثدي السليمة لدى الفئران

البالغة تحتوي فقط على نسخ متمايزة من الخلايا الجذعية التي لا يمكن أن تتحول إلى أورام، ولكنْ إذا أزيلت تلك الخلايا ذاتها من الأنسجة البالغة، فإنها سريعًا ما تعيد تنشيط قدرتها التعددية، أو ما يُعرَف بالقدرة على التمايز إلى أنواع مختلفة من الخلايا، بما في ذلك الخلايا السرطانية، مما يعزز من قيمة الدور بالغ الأهمية لبيئة الأنسجة في تطور الأورام[3].

وقد تكون لنماذج الاستزراع الأبسط فائدتها أيضًا في ذلك الموضوع. ففي دراسة[4] أُجريت في عام 2018، استخدم فيرميولين وزملاؤه نظامًا يقوم على نموذج بسيط يُسمَّى "المستزرع الكروي"، حيث تُزرع خلايا الورم الخاصة بشخص ما في مزرعة ثلاثية الأبعاد، حرة الحركة في طبق مختبري، بالإضافة إلى طعوم ورمية، يُحصل عليها من خلال زراعة الخلايا السرطانية البشرية في فأر يعاني من نقص المناعة، ثم السماح لتلك الخلايا بأن تنمو في هيئة ورم. كشفت هذه النُّهُج أن خلايا سرطان القولون البشرية تصبح أكثر شبهًا بالخلايا الجذعية كلما اقتربت من حافة الورم. وعندما أخذ أفراد الفريق خلايا غير تكاثرية من قلب الورم، وزرعوها على حافته، ظهرت على الخلايا علامات تدل على اكتسابها قدرة تكاثرية. وخلُص المؤلفون إلى أن الخلايا الجذعية لسرطان القولون البشري لا تُعرف بأنماط التعبير الجيني الذاتية فيها، ولكنْ بموقع تلك الخلايا. يقول فيرميولين: "أصابتني دهشة بالغة عندما علمت أن البيئة التي ينمو فيها الورم هي العامل المهيمن الذي يُعرِّف الخلية الجذعية. فتحديد أي الخلايا هي التي تتصرف على غرار الخلايا الجذعية أمر يتغير طوال الوقت حسب موقع تلك الخلايا في الورم".

تتبع المسارات الخلوية

يوضح الرابط المشار إليه آنفًا بين البيئة الخلوية وهوية الخلايا إلى أن الخلايا السرطانية قد تبدو شبيهة بالجذعية في ظل بعض الظروف التجريبية ولكن ليس في جميع الظروف الأخرى، أو أنها قد تُعبِّر عن مجموعات مختلفة من الجينات باختلاف بيئتها المحيطة. كذلك فإن تلك الخلايا تفتقر إلى وجود علامات سطحية عامة، مما يجعل وسمها ودراستها أمرًا أكثر صعوبة. لكن الباحثين قد ابتكروا مجموعة من الاستراتيجيات البديلة لتتبع مسارات الخلايا، كثير منها مستعار من مجموعة الأدوات الخاصة بعلم الأحياء النمائي.

استخدمت فري وفريقها البحثي سلالة من الفئران تسمى "كونفيتي" Confetti بهدف دراسة الخلايا الجذعية في الغدد الثديية الجنينية. وقد سُميت تلك السلالة بهذا الاسم، لأن الخلايا يمكنها التعبير عن أربع مُرشِدات فلورية مختلفة. عندما حقن الباحثون الحيوانات بمادة كيميائية لتحفيز التعبير عن البروتين المُرشِد في أوقات مختلفة أثناء النمو، حدث تنشيط للبروتينات في مواقع مختلفة. وباستخدام الفحص المجهري الفلوري، تمكن الفريق من معرفة أين انتهى المطاف بالخلايا ذات السلالات المختلفة في الأنسجة البالغة. استخدم فيرميولين وزملاؤه نهجًا مشابهًا قائمًا على الإشارات الفلورية لفهم كيفية تحكم البيئة في الخلايا الجذعية لسرطان القولون في دراسات استزراع الخلايا[5].

تُعَد الرموز الشريطية الجينية خيارًا آخر لتعقب الخلايا عندما تتبنى طفرات، وتنقسم إلى مجموعات فرعية مختلفة. يمنح هذا النهج كل مجموعة من الخلايا رمزًا شريطيًّا جينيًّا ثابتًا، وبانقسام الخلايا، تتطور الرموز الشريطية. ومن خلال وضع تسلسل لجميع الرموز الشريطية الخاصة بالخلايا، ومقارنتها، يمكن للباحثين حينئذٍ معرفة كيفية ارتباط الخلايا المختلفة ببعضها بعضًا، ومدى إسهام كل منها في نمو الورم.

هناك أشكال مختلفة من هذا النهج كانت قد اعتمدت على رموز شريطية ثابتة تحملها الفيروسات البطيئة، التي استُخدمت كوسيلة لإدراج التسلسلات عشوائيًّا في مجموعة من الخلايا. أما الآن، فإن أداة التحرير الجيني "كريسبر" CRISPER تعمل على تحسين تلك العملية.

في عملية تتبع السلالات القائمة على استخدام أداة "كريسبر"، يُدخِل الباحثون مصفوفة من تسلسلات "كريسبر" المُستهدَفة في جينومات الخلايا. ومن ثم، يلج إنزيم "كاس9" إلى تلك المستهدفات بشكل دوري ليقطعها، مما يحفز بدء عمليات إصلاح الحمض النووي، ويُخلِّف وراءه ندبة جينية تعمل كمُعرِّف فريد للخلية ونسلها. وعلى عكس الرموز الشريطية للفيروسات البطيئة، يُنشئ هذا النظام رموزًا شريطية فريدة بطريقة ديناميكية، ربما في كل مرة تنقسم فيها الخلايا، مما يتيح للباحثين إمكانية الربط بين الخلايا المختلفة ونسلها[6]. يقول ألكسندر فان أودينااردين، عالِم بيولوجيا الخلايا الجذعية في معهد هوبريخت في مدينة أوترخت الهولندية: "تتراكم التغيرات بمرور الوقت. ويختلف الأمر تمامًا عن الرموز الشريطية للفيروسات البطيئة التي استُخدمت في السابق".

ثمة نهج آخر يقرن التسلسل الخاص ببروتين فلوري بمقطع متكرر من الحمض النووي، وهو تكرار طويل لقواعد السيتوزين والأدينين التي تعتبرها الخلايا بمثابة مشكلة. مع انقسام الخلايا، فإنها بشكل دوري "تُصلِح" هذا التسلسل المتكرر عن طريق قصِّه، مما يؤدي في النهاية إلى وضع التسلسل الخاص بالبروتين الفلوري في موقع من الجينوم يمكن التعبير عنه. يقول فيرميولين إن عملية الإصلاح تلك تحدث مرة واحدة من بين كل عشرة آلاف خلية، أو نحو ذلك، مما يبعث توهجًا جينيًّا صغيرًا يمكن رؤيته تحت المجهر. تكمن الميزة، كما يقول فيرميولين، في أن هذا النوع من الوسم الفلوري لا يتطلب مادة كيميائية لتنشيطه، ويقول: "إنها طريقة لتتبع السلالات لا تمس الخلية على الإطلاق".

إنّ لكل استراتيجية من هذه الاستراتيجيات محاسنها وعيوبها، فعلى سبيل المثال، تكون بعض تسلسلات "كريسبر" أكثر عرضة للتندب من غيرها، مما يؤدي إلى حدوث نوع من التحيز في عملية لا يشوبها أي انحياز من الناحية النظرية. ويتطلب الفحص المجهري والاستراتيجيات القائمة على التسلسل مهارات حاسوبية وتقنية متقدمة. ومع ذلك، توفر الوسوم مقرونة بتسلسل الحمض النووي الريبي أحادي الخلية، أدوات قوية لتحديد أهمية الخلايا الفردية في الورم، نسبةً إلى بعضها البعض.

ويشير فيرميولين إلى أنه "إذا كان الورم مدفوعًا بخلايا جذعية سرطانية، فإن بعض الخلايا الموسومة فقط سوف تتكاثر وتتحول إلى مستنسخات كبيرة، لكنْ في حالة الورم الذي يعتمد على أنواع عديدة من الخلايا، فإن معظم الخلايا يتمدد. وبوضع البيانات في نموذج رياضي، يمكنك حينئذ تحديد إلى أي مدى تتبع أحد أنماط النمو عن نمط آخر".

كشف مزدوج

يمكن لمثل هذه النماذج أن تقدم صورة أكثر اكتمالًا عن كيفية نمو خلايا الورم وتغيُّرها، لكنها في الوقت ذاته تتطلب أيضًا خوارزميات حاسوبية جديدة. فالنماذج المُستخدَمة عادةً لاستنتاج العلاقات التطورية بين الخلايا لا يمكنها التعامل مع الكميات الكبيرة من المعلومات التي تتولد عند دمج مجموعة بيانات خاصة بتتبع السلالات مع مجموعة بيانات مستنبطة من عمليات تسلسل الحمض النووي الريبي أحادي الخلية.

يقول عالِم الوراثة جيه شندور بجامعة واشنطن في سياتل، الذي طورت مجموعته البحثية أحد أنظمة "كريسبر" الأولى لتتبع السلالات وتسلسل الحمض النووي الريبي في الوقت نفسه[7]، إن تلك المسألة تمثل مشكلة لطالما عانَى منها الباحثون في علم الأحياء النمائي.

عندما يتعلق الأمر بتتبع السلالات في دراسات السرطان، تكون المشكلات الأكبر في الغالب ذات طبيعة تقنية، من عينة استعادة كميات كافية من الرمز الشريطي ومعالجة البيانات المفقودة. وغالبًا ما تتضمن دراسات تتبع السلالات فجوات، يعود مَنشأها إلى أن بعض مجموعات الخلايا تختفي، أو أن كميات تسلسل الرمز الشريطي في العينة تكون صغيرة جدًّا بحيث لا يمكن معالجتها. يقول شندور إن الخوارزميات من الممكن أن تصعب عليها معالجة تلك الفجوات، ولذا فمن الضروري تعظيم إنتاجية واستقرار تسلسل الحمض النووي الريبي الذي يُرمِّز الرمز الشريطي.

وفي دراسة نُشرت هذا العام[8]، تعقَّب تريفر بيفونا، الباحث في مجال السرطان بجامعة كاليفورنيا في سان فرانسيسكو، وزملاؤه بشكل متزامن كلًّا من السلالات والتغيرات في التعبير عن الحمض النووي الريبي في خلايا سرطان الرئة المزروعة في الحيوانات. تمكَّن الباحثون من خلال الأداة التي استخدموها، والقائمة على إنزيم "كاس9"، من متابعة الكيفية التي استطاعت بها التغيرات الجينية دفع الخلايا السرطانية إلى زرع أورام في أنسجة بعيدة بشكل آني، وتُعرف عملية انتقال الأورام هذه باسم "النقيلة".

سجل أفراد الفريق بيانات السلالات والتعبير الجيني لأكثر من أربعين ألف خلية من خلايا الفئران من ستة مواقع مختلفة في أجسام الحيوانات، ووجدوا أن الخلايا تتنقل ذهابًا وإيابًا بين حالات وراثية مختلفة عدة مرات، قبل أن تستقر في مسار مختلف.

من أجل تحليل هذه البيانات الضخمة، طوَّر الباحثان المعاونان لبيفونا، وهما: عالِم الأحياء جوناثان وايزمان بمعهد وايتهيد في كامبريدج بولاية ماساتشوستس، وعالِم الحاسب نير يوسف بجامعة كاليفورنيا في بيركلي، مجموعة من الأدوات، أطلقا عليها اسم "كاسيوبيا" Cassiopeia، من شأنها أن تساعد على إعادة بناء السلالات على أساس بيانات الرموز الشريطية[9] المتولدة من أداة "كريسبر-كاس9". وقد جعل هذان الباحثان وغيرهما أدواتهم التحليلية متاحة بدون مقابل (انظر: go.nature.com/2ptezwd).

أما بادوري، فكثيرًا ما تلجأ إلى مجموعة أدوات تسمى "سوراه" Seurat[10]، طوَّرها عالِم الإحصاء راؤول ساتيا وعالمة الأحياء الحاسوبية أفيف ريجيف عندما كانا في معهد برود، التابع لجامعة هارفارد ومعهد ماساتشوستس للتكنولوجيا في كامبريدج بولاية ماساتشوستس. تتيح أدوات "سوراه" لبادوري تحليل التغيرات في التعبير الجيني والتباينات في عدد النسخ الخاصة بجين معين في الخلايا المفردة، في نفس الوقت.

وبغض النظر عن مجموعة الأدوات التي يختارها الباحثون، توصي بادوري بأن يعتمد الأشخاص المستجدون في مثل هذه التحليلات على الدروس التعليمية المتاحة، وأنْ يعملوا من خلال الدورات التدريبية التي يقدمها مطورو الخوارزميات. أما أولئك الباحثون الذين طوروا برمجيات تحليلية بأنفسهم، مثل فيرميولين وغيره، فعادةً ما يتعاون هؤلاء مع علماء الإحصاء الحيوي للقيام بتلك المهمة.

ومع ذلك، ما تزال ثَمَّة حاجة إلى تطوير أدوات أفضل، كما يقول شندور. ويضيف قائلًا: "مع نمو عدد الخلايا في الشجرة التطورية، يتضاعف عدد الترتيبات الممكنة أضعافًا كثيرة. سوف نحتاج إلى أدوات أكثر ثراءً، قبل أن نتمكن من إدراك إمكانات هذا الجانب بالكامل من البحث والتقصي".

جيوتي مادهوسودانان، كاتبة مستقلة تعيش في بورتلاند بولاية أوريجون الأمريكية.

1. Bhaduri, A. *et al. Cell Stem Cell* **26**, 48–63 (2020).
2. Tang, M. *et al. Cell Res.* **30**, 833–853 (2020).
3. Lilja, A. M. *et al. Nature Cell Biol.* **20**, 677–687 (2018).
4. Lenos, K. J. *et al. Nature Cell Biol.* **20**, 1193–1202 (2018).
5. Vermeulen, L. *et al. Nature Cell Biol.* **12**, 468–476 (2010).
6. Kester, L. & van Oudenaarden, A. *Cell Stem Cell* **23**, 166–179 (2018).
7. Raj, B. *et al. Nature Biotechnol.* **36**, 442–450 (2018).
8. Quinn, J. J. *et al. Science* **371**, eabc1944 (2021).
9. Jones, M. G. *et al. Genome Biol*. **21**, 92 (2020).
10. Satija, R., Farrell, J. A., Gennert, D., Schier, A. F. & Regev, A. *Nature Biotechnol.* **33**, 495–502 (2015).



مكان عملي
روري هود

تركز أبحاثي على إحدى بقاع أيرلندا التي لا يأتيها كثير من الزوار؛ ألا وهي الغابة المطيرة معتدلة المناخ في حديقة كيلارني الوطنية، وهي محمية تمتد على مساحة 10,200 هكتار بالقرب من الساحل الجنوبي الغربي للبلد، حيث يكون المناخ عادةً رطبًا. ومقارنةً بطبيعة الجو المعتادة في أيرلندا، فدرجة الحرارة هنا دافئة نسبيًا، وتجاوز عادة 10 درجات مئوية في أوقات الظهيرة في فصل الخريف، وهو ما يخلق ظروفًا مثالية لنمو جميع أنواع الطحالب والسراخس، فضلًا عن نباتات بسيطة تشبه الطحالب تسمى الحشائش الكبدية.

وفي هذه الصورة، التي التُقِطت في نوفمبر الماضي، أُلقِي نظرة متفحصة على قطعة من الطحالب التي تنمو في بقعة مليئة بالمستنقعات بجوار شجرة شائكة الأطراف، حيث أعمل عالمًا مستقلًا لحسابي الخاص، وتتعاقد معي الحكومة الأيرلندية في كثير من الأحيان لإجراء مسوح تتناول التنوع البيولوجي المذهل الموجود في هذه المنطقة.

وقد يؤوي متر مربع واحد من الأرض هنا 30 نوعًا من الطحالب والحشائش الكبدية. وهذا يتطلب عادة نظرة محققة لتمييز أحدها عن الآخر. وإذا غلبتني الحيرة، آخذ عينة منها إلى مختبري، وهو في واقع الأمر غرفة إضافية في منزلي. وهناك، أفحص بنية خلايا العينة، والسمات المُمَيِّزة الأخرى لها تحت المجهر.

نشأت بالقرب من هذه الحديقة؛ وعلى الرغم من كل الوقت الذي قضيته هنا، فما زال المكان قادرًا على إدهاشي. على سبيل المثال، في صيف عام 2019، وجدت سرخسًا استوائيًا صغيرًا من النوع *Stenogrammitis myosuroides*، وموطنه الأصلي جبال جامايكا، وجمهورية الدومينيكان، وكوبا. والتفسير الأرجح لظهوره هنا أن أبواغًا انجرفت في الهواء، وحلقت عبر المحيط الأطلسي وتصادف أن هبطت في مكان تستطيع النمو فيه. يدفعك هذا للتفكير في كل الأبواغ والبذور التي لم يحالفها الحظ.

يبعد هذا المكان عن أقرب طريق بمسيرة ساعتين على الأقدام. وتمر بي الأيائل الحمر في بعض الأحيان، وتحلق فوقي أفراد العقاب أبيض الذيل. وعندما تهطل الأمطار أتساءل عما أفعله هنا، إلا أنني أفكر، بين عاصفة والأخرى، أن هذا هو أكثر مكان أحب أن أكون فيه. فهو هادئ ولكنه مفعم بالحيوية، وإذا كنت تقدر قيمة الطحالب، فستجد دائمًا ما يجذب انتباهك.

روري هود، عالم نبات مستقل يعيش في مدينة ويكلو بأيرلندا.
أجرى المقابلة: كريس وولستون.

صورة خاصة بدورية ***Nature*** بعدسة كريس مادالوني.